



TITLE:

緑地における樹木生育基盤に関する研究(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

森本, 幸裕

CITATION:

森本, 幸裕. 緑地における樹木生育基盤に関する研究. 京都大学, 1985, 農学博士

ISSUE DATE:

1985-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r5589>

RIGHT:

新	制
農	
408	

京大附図

緑地における 樹木生育基盤に関する研究

森本幸裕

緑地における
樹木生育基盤に関する研究

森本幸裕

もくじ

序論	・・・・・・・・・・	1
第1章 平坦地における樹木生育基盤	・・・・・・・・・・	4
1-1 踏圧による土壌固結と樹木衰退	・・・・・・・・・・	4
1-2 都市公園に植栽されたケヤキの生育に及ぼす土壌ち密度の影響	・・・・・・・・・・	14
1-3 基盤造成時の土壌固結がケヤキとソメイヨシノ植栽木の生育に及ぼす影響	・・・・・・・・・・	21
1-4 市街地緑地の土壌物理性の経年変化	・・・・・・・・・・	30
1-5 総括	・・・・・・・・・・	39
第2章 のり面における樹木生育基盤	・・・・・・・・・・	42
2-1 樹木植栽のり面における土壌の経年変化	・・・・・・・・・・	42
2-2 植物生育状況と生育基盤としての土壌条件との関連	・・・・・・・・・・	58
2-3 総括	・・・・・・・・・・	73
第3章 大規模造成緑地における樹木生育基盤	・・・・・・・・・・	75
3-1 万国博記念公園の緑化手法と樹木生育状態	・・・・・・・・・・	75
3-2 土壌諸性質と樹木生育の関連	・・・・・・・・・・	84
3-3 表層土中の地下水位と樹木生育の関連	・・・・・・・・・・	104
3-4 総括	・・・・・・・・・・	113
第4章 土壌ち密度が造園樹木生育に及ぼす影響に関する実験	・・・・・・・・・・	115
4-1 加踏圧処理による2・3の造園樹種の生育変化	・・・・・・・・・・	115
4-2 植栽基盤のち密度と2・3の造園樹種の活着・初期生育の関係	・・・・・・・・・・	122
4-3 排水不良条件での土壌ち密度とマツバボタンの生育の関連	・・・・・・・・・・	127
4-4 薄いマサ土層のち密度とマテバシイおよびナンキンハゼの活着・初期生育の関係	・・・・・・・・・・	132
4-5 土壌ち密度と樹木生育の関連に関する考察	・・・・・・・・・・	138
4-6 総括	・・・・・・・・・・	141
第5章 対策について	・・・・・・・・・・	144
5-1 小型貫入試験器による土壌硬度診断	・・・・・・・・・・	144
5-2 土壌改良資材によるマサ土締固まり防止効果	・・・・・・・・・・	148
5-3 総括	・・・・・・・・・・	155
結論	・・・・・・・・・・	158
謝辞	・・・・・・・・・・	160

序 論

森林植生や成熟土壌で覆われた自然地形が、あるいは生産力豊かな田畑が、さらに自然水面もが宅地や道路、工場など各種施設の用地として利用される。近年、その改変された土地の空地には、庭園や公園、道路緑地、環境緑地などの各種緑地の建設を行うべきであるという社会的要請が大幅に増加してきている。しかし、近代的な土木工事による土地造成はたいへん短期間で行なわれるようになってきているのに対して、ひとたび裸地化した土地に植栽された樹木の生育は早くなることは少なく、長年月を経過しても思わしくない例も決して少なくない。

この主要な原因のひとつは、近年の造成緑地の植栽基盤が、従来より造園植栽の対象となっていた土地と比較して著しく不良であることに求められよう。それは植栽や植生回復のための配慮を欠いた造成法の必然的な結果であるともいえる場合も多々あろうが、だからといって放置しておいてもよいものではなく、環境保全に配慮した造成手法の開発のためにも、個々の事例において緑化のための適切な手法が試みられるべきであろう。

このような植栽基盤は特殊基盤¹⁾として問題化しているが、さらに緑地の管理の局面においても、過度の利用にともなう土壌の固結化の問題をはじめ、いわゆる緑地土壌に対する関心が高まってきている。

本研究はこうした各種緑化事業の現場の問題に対応して筆者が1974年より手がけてきたところの、緑地樹木生育基盤（緑地土壌）の不良要因の抽出とその診断法および対策に関する研究成果²⁻¹³⁾をとりまとめたものである。

本研究で対象としたのは関西地方各地の緑化事例であり、造成上の特徴によって、平坦地とのり面および大規模造成地に分類してまとめ、第1章では平坦地を取りあげた。平坦地は利用の際の土地改変の程度も小規模であり、本来、樹木生育上とりたてて問題の多い基盤とはいえない場合も多いが、ここでは造成時の重機の踏圧による土壌の締め固まり、利用にともなう踏圧による表層土の固結化など、踏圧が土壌密度に好ましくない影響を与えている例を取りあげた。

第2章の、のり面における調査研究では、切盛りによって生じる風化の進んでいない基岩が露出した切取り面や、締め固められた盛土面の樹木生育基盤としての諸性質とその経年変化の傾向を取りあげた。

第3章の、大規模造成地における調査研究では、近年開発が盛んな新第3紀ないし洪積

層よりなる丘陵地を切盛り造成して舗装や建築が行われた大阪万国博覧会会場が再造成されて緩斜面よりなる大規模樹林帯造成が行なわれた万博記念公園自然文化園地区をとりあげた。

第4章では、さきの事例の多くで土壌密度が重要な樹木生育制限要因となっていると考えられたことに鑑み、土壌密度を変数とする造園樹木の栽培試験によって確認しようとし、樹木生育におよぼす土壌密度の意義を考察し、小型貫入試験器などによる樹木生育基盤の分級を試みた。

第5章では、前章までに明らかとなった主要な樹木生育阻害要因の対策について、その1例を述べた。

最後に本研究の成果を要約して結論とした。

なお本研究で対象としたような各種緑化事業の現場の問題に対応して、日本造園学会大会で発表される研究のなかで、土壌に関するものが1976年以降急増し¹⁴⁾、関東地方の火山灰質の土壌を主たる対象として植栽基盤の必要盛土厚さに関しては奥水のまとまった研究¹⁵⁾や土地造成工事にともなう不良基盤の調査から改良目標の提案¹⁶⁾がなされている。1980年からは緑地土壌、植栽基盤の研究、保全、調査法、整備などに関する分科会もすでに5回を数えている^{14, 17-20)}。しかし、緑地の樹木生育基盤に関する研究は、森林土壌や田畑の土壌に関するそれに比較してきわめて少なく、現在のところ、緑地の多様な性格、環境条件に対応した事例研究も豊富でない。さらに、生育に長年月を要する樹木の植栽基盤としての諸性質の評価を限られた期間で行なったり、短期間の植栽試験で結論を導くことは容易ではない。

本研究もこれらの点に起因する不十分性を多く持つが、今までまとまった研究が少なく不明な点の多かった樹木生育基盤としての緑地土壌諸性質を、関西地方の非火山灰土壌を対象にとりまとめ、各種緑化事業における土壌保全、植栽基盤整備、さらに土壌管理のための一定の知見を得ることができた。

文 献

- 1) 土質工学会編(1981): 緑化植栽工の基礎と応用(土質基礎工学ライブラリー-20): 251-259.
- 2) 森本幸裕, 増田拓朗(1975): 踏圧による土壌の圧密と樹木の生育状態について, 造園雑誌39(2): 34-42.
- 3) ———・————(1976a): 表土圧密が樹木の生長に及ぼす影響について, 造園学会春期大会発表要旨: 123-125.
- 4) ———・————(1976b): 市街地緑地の土壌物理性相互の関係について, 同上: 126-129.
- 5) ———・————(1977): 固結土壌への植栽に関する実験的研究, 同上: 65.

- 6) ——— (1978): のり面への樹木導入と土壌条件に関する問題点, 京都芸術短大『瓜生』 1:18-25.
- 7) ——— (1980a): 岐阜市の公園緑地におけるケヤキの生育と土壌条件について, 同上 2:13-19.
- 8) ——— (1980b): 固結土壌における樹木生育とその診断に関する事例研究, 同上 3:19-29.
- 9) Morimoto, Y. (1982): The recovering process of richness of the soil on artificial slopes of tree planting, Research Bull. Erosion Control and Landscaping of Man-Made Slopes, 1:28-43.
- 10) 森本幸裕 (1982): 斜面の植物生育環境とその改善策, 『斜面緑化』四手井綱英監修: 94-128. (鹿島出版会)
- 11) 小橋澄治・森本幸裕・吉田博宣・小橋借子・坂本圭児 (1982): のり面の植物生長条件としての土壌の性質 (第1報), 斜面緑化研究 4:36-66.
- 12) 森本幸裕 (1983): 2, 3 ののり面における土壌有機物集積量にもとづく土壌回復過程の診断について, 造園雑誌46(5): 182-187.
- 13) 森本幸裕・小橋澄治 (1983): 万博記念公園の樹木の生育と土壌条件の関連について, 斜面緑化研究 5:66-95
- 14) 奥水 肇 (1980): 緑地土壌研究の課題と方法, 造園雑誌44(1):24-29.
- 15) ——— (1977): 人工地盤における緑地植物の植栽に関する研究, 緑地学研究 6: 140pp.
- 16) ——— (1980): 住宅地開発における土壌保全(Ⅱ), 明治大学・農・研報49: 1-16
- 17) ——— (1981): 緑化事業における土壌保全の手法と課題, 同上45(1): 35 - 43.
- 18) ——— (1982): 植栽基盤整備のための土壌調査の手法と課題, 同上46(1): 35-43.
- 19) ——— (1983): 植栽基盤整備手法とその標準化について, 同上47(1): 32-38.
- 20) ——— (1984): 緑化事業における植栽基盤整備マニュアルについて (抄録), 同上48(1): 19

第 1 章

平坦地における樹木生育基盤

日本においては、起伏の少ない平野部や段丘などは人間の活動の主要な場であったから、自然性の高い植生や土壌は稀少である。そのかわり、そのような立地に成立した都市およびその近郊では、庭園や公園にみられる緑地樹木の植栽の歴史もたいへん古く、すくなくとも経験的には庭園レベルの管理を前提とした樹木生育基盤の問題はまず解決しているといえるだろう。これは立地的に大規模な造成を必要としないため、もしくは造成をほとんど行わず、もとの土壌の保全が少なくとも結果的になされていることによるところが大きいとみられる。

しかるに近年は、都市緑地の利用過度による土壌固結化や、重機を用いた公園緑地の造成に起因する締め固まりなどの基盤上の問題が平野部においても発生している。本章では平坦地、ないし小規模な造成緑地の樹木生育基盤に関する調査研究をとりあげ、樹木生育基盤の不良要因を抽出する。

1-1 踏圧による土壌固結と樹木衰退

近年みられる都市緑地の樹木衰退の要因のひとつとして踏圧による土壌固結が指摘されることが多い。しかし、この関係が具体的に調査された例は多くなく、緑地の土壌管理の見地から、その診断法を確立するためにぜひ明らかにする必要があると考える。本節では少なくとも近年まで樹木が比較的正常に生育していたと思われる京都御苑を事例として、踏圧による土壌固結化と樹木衰退の関連についてとりまとめた。

(1) 調査地の概況

京都御苑は京都盆地中心部のやや北方に位置し、面積約 100haの平坦な緑地で南端は北端より標高で 8m 低い。最外周にはウバメガシの生垣があり、それにそって内側にはケヤキ・ムクノキ・エノキの大径木を主とする植樹帯があり、これより内側は御所およびマツ類を主たる景観木とした芝生地である。調査対象としたのは周縁部の植樹帯であり、人の

侵入の稀な部分、広場、駐車場、グラウンドなどとなっている。ボーリングによれば¹⁾表層2~3mにいくらか細粒質を混える層がみられるが、それ以下は50mに達するまでほとんど砂礫のみの単純な地層であり、この間に連続性をもった難透水層はなく不圧地下水はほぼ8~10mにあると見られている。

なお、土壌物理性の対照のために調査した京都大学演習林本部試験地の樹木見本園（京都市左京区北白川）は約40年前に造成された平坦地で、草本とリターで地表は覆われており、人の侵入はほとんどない。土壌は御苑と同様に砂壤土であるが石礫はかなり少ない。

（２）調査法

調査地を利用形態に応じてFig. 1.1のようにA~Mまで13区に分けた。土壌の物理性については、その代表的な部分で表層土を非攪乱的に採取し、常法にしたがって分析した。また、小型貫入試験器（円錐：頂角25°，底面積3cm²，落錘：1.17kg, 20cm自由落下）を用いて土壌の硬さを測定した。水の浸透能は直径10cmの鉄製円筒を地中10cmまで土壌の構造をこわさないように打込み、表面にわずかに水の薄層ができる状態に保ちつつ円筒内に注水し、6分毎に注水量を記録し、それが安定な状態となるまで継続して測定した。なお円筒の外側に幅約10cmのBuffer pondを設けて測定期間中注水し、円筒より下部における円筒外側への浸透による誤差を取除くようにした。

樹木の生育状態については各区のケヤキ (*Zerkova serrata* Makino) 155本、ムクノキ (*Aphananthe aspera* Planch.) 18本、エノキ (*Celtis sinensis* Pers. var. *japonica* Nakai) 38本、計211本の胸高直径、樹高などを測定し、また『健康度』として以下にのべるような方法で評価を行った。まず枝を、幹から直接派生した1次枝を『大枝』、枝の末端にあたり葉をつける部分を『細枝』、その中間を『中枝』の3部分に区別する。『大枝』については枯損を含めた総本数に対する枯損枝の割合を求め、『中、細枝』については観察によって枯損程度を（-）ほとんど枯損が認められない、（+）枯損が少々認められる、（++）枯損が著しいの3段階で判定する。その評価を『中、細枝』については（-）を0.9、（+）を0.6、（++）を0.2とし、『大枝』については枯損比0~0.15を0.9、0.15~0.3を0.8、0.3以上を0.4とし、各枝の割合を乗じたものをその個体の評点とし、健康度と呼ぶ。これは正常に生育した場合の枝の総量に対する現在の生枝の割合の指標を意図したものである。なお、各枝の故損が最も少ないと判定される場合のこの値は0.729、最も多い場合は0.016となる。この値は3つの係数を乗じたものであるので、地区の平均値としては相乗平均をとった。

樹木の生育状態の指標としては生長量を用いるのが望ましいが、非破壊的に1回の測定で判定する方法として『健康度』評価をもってこれにかえた。

調査は1974年1~3月、1975年1~4月の落葉期に行なった。

(3) 調査結果と考察

A. 土壌の固結化

表層土の容積重はTab. 1.2 に示したとおりである。人の利用の多い広場、グラウンド、駐車場などの裸地ではそうでないところと比べて容積重が大きく、細土基準で100g/100ccを超える。原土基準の容積重は隙の含有率の影響が大きい、最も小さい値を示したのはJ区で75、最も大きい値はI区で169であり、仮に前者を踏圧のない状態とすれば、利用によってほぼ2倍に増えたことになる。細土基準でも（以下、特に断わらない限り細土基準の値を用いる）I区(146)はJ区のほぼ2倍である。

つぎにJ区で調べた容積重の垂直分布をTab. 1.3に示す。踏圧は比較的少ない場所である。表層は100以下で、さきの表に示したJ区にほぼ等しいが、10cm以深では100以上となり100cm深まで大きな変化はない。なお、広場などではJ区の下層土と同様もしくはそれ以上に表層がち密になっている。

容積重と孔隙量は密接な関係があり、実用的な範囲ではほぼ1次の比例関係にある¹⁾。
原土では

$$P=94.5-0.35VW$$

（ただしP：孔隙量%，VW：原土容積重g/100cc）

の関係が得られ、踏圧による容積重の増加はすなわち孔隙量減少となる。ただし原土容積重は、有機物含有率が増加すれば細土真比重が小さくなることによっても影響をうける²⁾。最も容積重の小さかった京大演習林の真比重は御苑のどの地区よりも小さい。御苑表層土はA区(2.28)、E区(2.35)以外はすべて2.46から2.65のせまい範囲にあり、全般的に有機物含有率は演習林よりかなり少なく（1-4参照）これが容積重におよぼす影響は少ないと見られる。

Fig. 1.3に容積重と最小容気量の関係を示した。これによると、容積重の増加にともなう最小容気量の減少は前者が100程度までにおいて著しく、90以上ではすべて10%未満となる。最大容水量の場合はFig. 1.4に示したように容積重60～100の間に特に変化はなく、それ以上では明確に減少している。容積重60以下の御苑の値は特に石隙の多いE区の値であり、他とそのまま比較するのは適当でないだろう。

これらの関係をまとめて見て、容積重の増加を踏圧にともなうち密化の過程と見なせば、その初期に粗大な孔隙である最小容気量の減少が、後期には最大容水量の減少が著しいことになる。粗大な孔隙は水分や空気の土壌中での移動に大きく寄与すると考えられるので、この点をつぎに述べる浸透能測定によって確めた。

浸透速度は測定初期に大きな値を示し、しだいに低下し、安定した値をとるようになるのが一般で、Hortonによって次式で表現された。⁴⁾

$$f = f_c - (f_0 - f_c)e^{-Kf t}$$

（ただしf：t時間後の浸透速度，f₀：初期浸透速度，f_c：最終浸透速度，Kf：定数）

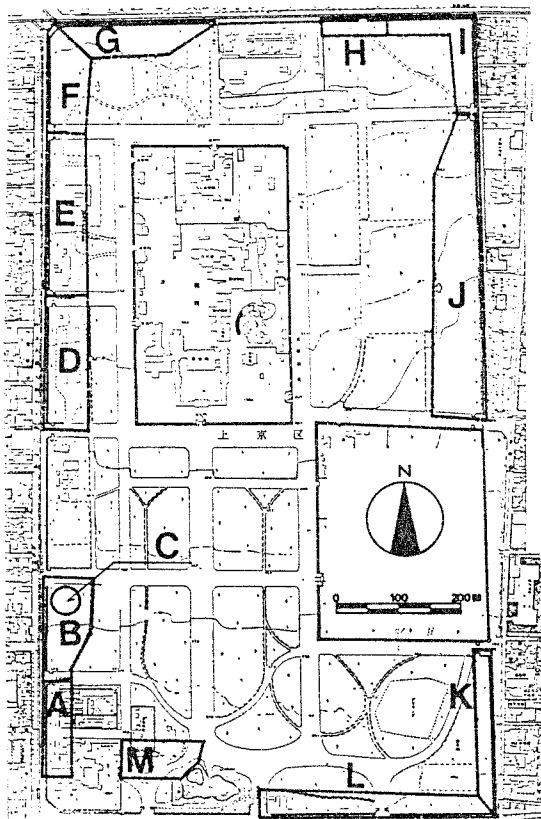


Fig.1.1

Investigated areas divided by type of utilization

Tab.1.1 Classification of withered branches and "Health index"***

A. Primarily scaffold branch	B. Intermediate branch	C. Fine branch		
		- (0.9)	+ (0.6)	++ (0.2)
0~0.15 (0.9)*	- (0.9)	0.729	0.486	0.162
	+ (0.6)	0.486	0.324	0.108
	++ (0.2)	0.162	0.108	0.036
0.15~0.3 (0.8)	- (0.9)	0.648	0.432	0.144
	+ (0.6)	0.432	0.288	0.096
	++ (0.2)	0.144	0.096	0.032
0.3< (0.4)	- (0.9)	0.329	0.216	0.072
	+ (0.6)	0.216	0.144	0.048
	++ (0.2)	0.072	0.048	0.016

*Number in () is the coefficient correspond to the classification of withered branches.

***Health index" = (A)x(B)x(C)

***Assessment method of withered branches is as follows.

A. Primarily scaffold branch: classified into three groups by the ratio of withered branches to total branches. (0-0.15, 0.15-0.3, 0.3-) B. Intermediate and C. Fine branch: classified into three groups (-: withered branches are hardly recognized, +: a few withered branches, ++: considerable withered branches.)

Tab 1.3 Vertical distribution of volume weight. (Area : J)

Depth cm	V.W.* g/100cm ³	v.w.** g/100cm ³
0- 4	88	79
10- 14	139	104
30- 34	138	114
40- 44	142	126
60- 64	122	101
80- 84	140	118
100-104	129	105

* V.W. means the value of fine soil and gravel.

** v.w. means the value of fine soil.

Tab 1.2 Some physical properties of the soils in natural condition

Area	Volume weight		Gravel (weight) %	Infiltration capacity mm/hr.	Hardness by corn penetrometer	
	V.W.* g/100cm ³	v.w.** g/100cm ³			Penetrating depth, cm/100times	N value times/0-4cm
B Play ground	152	115	45.6	5	11.8	43
D Parking	137	103	42.9		9.4	40
F Play ground	166	112	59.3	15	12.9	46
I Ground	155	146	32.8	10	11.0	38
K Foot pass	155	127	36.0	16	14.3	28
E Foot pass	129	107	32.5	53	16.9	29
I Litter	126	81	54.3	31	11.9	47
L Grass	128	94	29.4	75	23.0	22
K Grass	135	66	67.5	1,010	21.4	13
A Grass	107	94	20.5	31	19.6	17
P Grass	113	100	26.7			
E Grass, Litter	105	46	68.9	770	21.9	4
J Grass, Litter	75	70	11.1	145	26.5	5
Kyoto Univ. Forest	58	50	21.7	102	34.7	4

* V.W. means the value of soil and gravel.

** v.w. means the value of fine soil.

Fig. 1.5に測定例を示す。Tab. 1.2に示した値は測定により求めた f_c であり、以後、浸透能としてこの値を用いる。草本、リターで覆われたK, E, J区では100mm/hrを超えるが、広場などは特に小さな値を示し、20を超えない。容積重の増加は浸透能の著しい低下をまねくといえる。(Fig. 1.6) J区を対照区としてI区と比較すれば、容積重の約2倍の増加に対し浸透能は1/15に低下しており、B区の場合は1.6倍に対し1/29に低下したことになる。浸透能は土壌のち密化の鋭敏な指標となりうるだろう。

測定法は異なるが、林地における例では『ほとんど全部が100mm/hr以上であり、中には300~360mm/hrに達する箇所』⁴⁾もあり、歩道では11mm/hrであった⁵⁾という。これらを今回の測定値と比較すれば、K, E, 区が異常に高い値と思えるが、J区、京大演習林が林地に、広場などの値が歩道の値にほぼ相当しており、A, L区はそれらの中間的な値といえる。

浸透能は容積重のみならず、土性、土壌構造の影響も考えられる。また径の大きな隙によるedge errorを無視できない。さきのFig.のバラツキはこのためで、K, E区では隙含有率が70% 近くあるため過大な値となったのだろう。

ち密化によって土壌は堅さを増す。Fig. 1.7は小型貫入試験器による測定結果を打撃回数と貫入深の関係で示したものでB区は広場で強く、J区は御苑で最もやわらかく、A区は刈り込みが行われている草生地で両者の中間である。このような堅さの垂直分布をみるために、円錐の底面が4cm 貫入するのに要する打撃回数(N_4 値)を地表面から順次4cm 毎に示したのがFig. 1.8である。演習林、J, A区、特に前2者は表層でやわらかく、下層になるにしたがって堅くなっているが、I, F区では下部より表面が強い傾向が見られる。またどちらも8~20cm以深では N_4 値で15~40程度におちつきそうである。この結果と前述のJ区での容積重の垂直分布が10cm以深で大きな変化がなかったことと矛盾しない。(これらの土壌諸性質の相関については第3章でさらに検討する。)

B. 樹木の衰退

調査木はFig. 1.9に示したようにほとんど大径木である。樹高を2mごとに分けると24~26 mにモードをもち、ケヤキはムクノキ、エノキより形状比(樹高/直径)がいくらか大きく、特にJ区では形状比の大きいものが多いようである。これは分布密度が高いため、調査地樹木の健康度と特に関係があるとは思えない。

枝故損の判定結果の分布をTab. 1.4に示す。大、中、細枝の故損は本数割合で0.015未満のものが57.8%, 0.15~0.3が33.2%, 0.3以上が9%であり、中枝は(-) 26.5%, (+) 44.1%, (++) 29.3%であり、細枝は(-) 78.7%, (+) 17.0%, (++) 4.3%である。中、大枝に故損が多いようである。

この『健康度』の地区ごとの平均値をTab. 1.5に掲げた。この値が最も低かったのはD区で0.056、また0.2未満の地区は広場などですべて裸地であり、樹木の衰退が最も目立つ地区である。これに反してJ・K区は値が0.5より大きく、この地区は草本、リターで

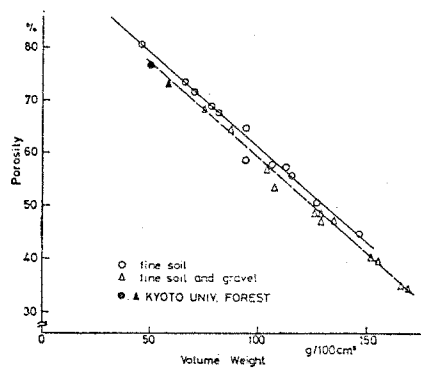


Fig. 1.2
Relation between volume weight and porosity

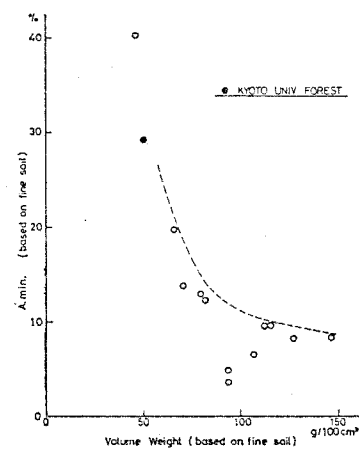


Fig. 1.3
Relation between volume weight and minimum air capacity

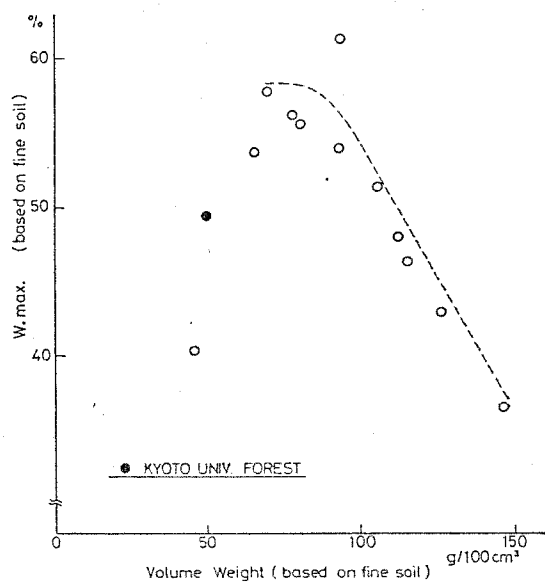


Fig. 1.4
Relation between volume weight and maximum water holding capacity

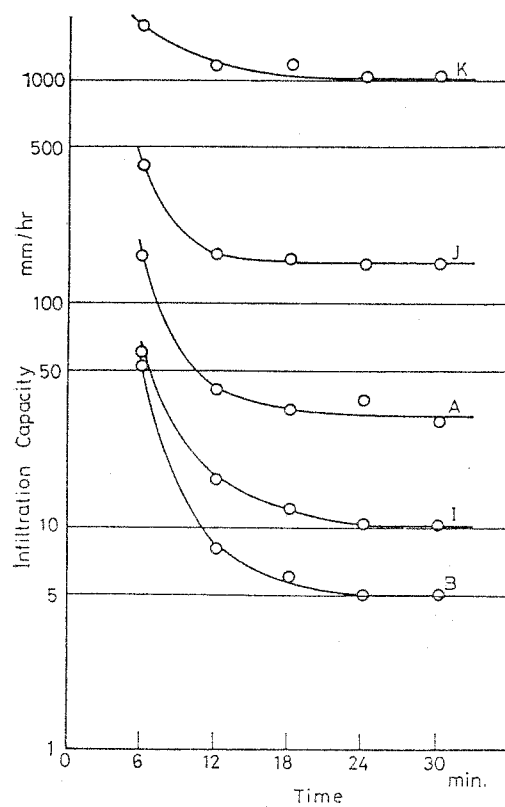


Fig. 1.5
Relation of infiltration capacity to rain duration

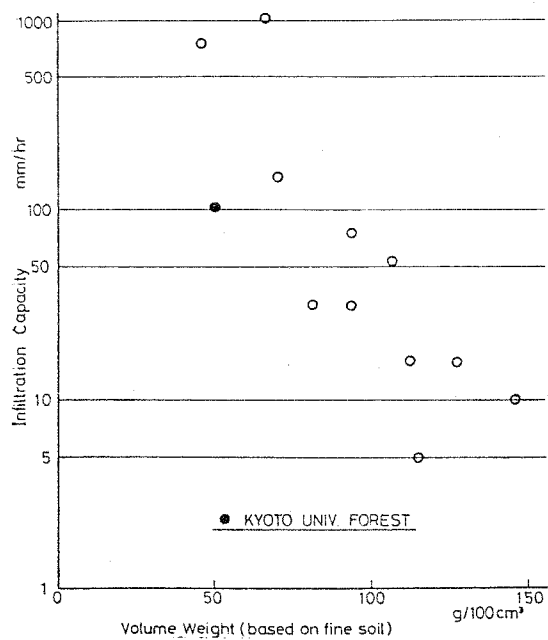


Fig. 1.6

Relation of infiltration capacity to volume weight

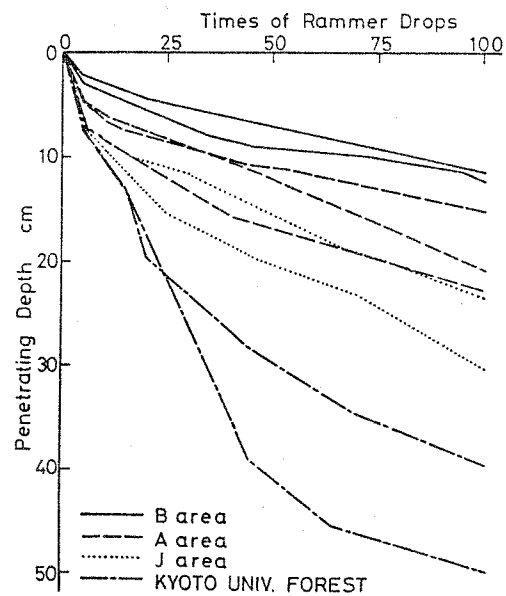


Fig. 1.7

Relation between times of rammer drops and penetrating depth

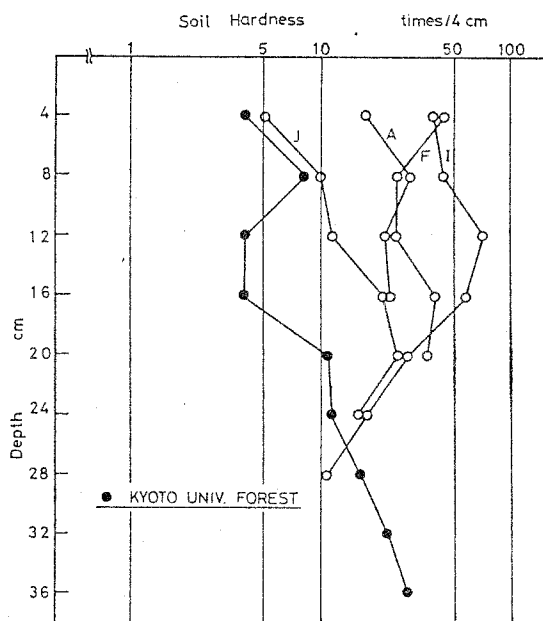


Fig. 1.8

Vertical distribution of soil hardness

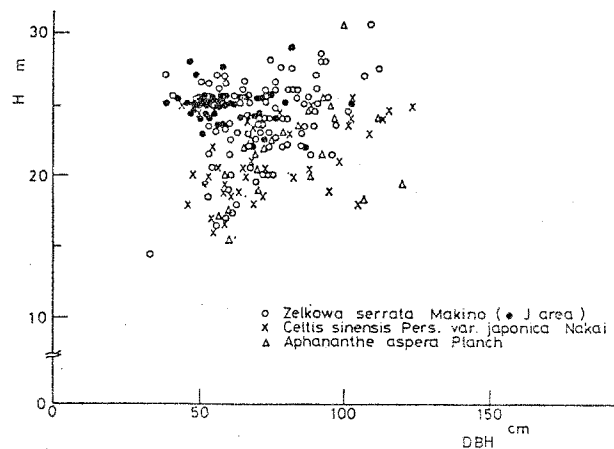


Fig. 1.9

D-H Relation

覆われており、人の通行は稀であって、樹木は御苑で最も健全な地区である。他は両者の中間の値を示し、A、Mは落葉の清掃、草刈りが定期的に行なわれる草生地であり、E、L区は人の散歩などによって自然にできた通路がやや目立つがこれらの地区の樹木は少々枝枯れが目につくもののほぼ健全さを保っているようである

なお調査木は大径のものが多いが健康度の高いJ区と低いI区を例にとって胸高直径と健康度の関係をみたが (Fig. 1.10) 両者の関係は認められず、現在の枯損を直径の増加にともなうものと見ることはできない。

以上のように健康度の地区平均はその地区の樹木の生育状態の良否をおおむね表現しており、人の利用頻度が高いほど健康度が低いといえるだろう。

このように健康度と利用形態が密接に関係し、利用形態と土壌の固結化が密接に関係しているとすれば、調査地における樹木の衰退は踏圧による土壌の固結化が主たる要因と考えられる。

この不良要因の指標として土壌物理性に注目すれば、広場など健康度 0.2未満の地区ではすべて表層土容積重が 100を超え、最小容気量 (細土) は10% 以下である。林地の場合でも 100を超えるものは少なく、生産力の低い、せき悪林地でこのような値をとるという3)。

浸透能と健康度の関係はFig. 1.11 に示したとうりで健康度 0.2未満の地区では20mm/hrを超えず、0.5以上のものは100mm/hr以上となる。ただしK、Eのような異常に高い値がそのまま健康度にプラスにはたらくかどうかは疑問であり、このような場合は保水性の指標をあわせて検討する必要があるだろう。なお透水性は浸透能と密接に関係し⁴⁾ 林地の地位判定に用いられる。Fig. 1.12 は小型貫入試験器による表層土のN₄ 値と健康度の関係を見たもので、N₄ 値が10ないし20程度までは健康度に影響がなく、30以上で衰退が明らかとなっている。

以上をまとめると、健全な樹苑地に人の利用により踏圧が加わり表層土が固結化し、その程度は利用の激しいほど著しく下層土と同等もしくはそれ以上の密度となる、これにともなって樹木が衰退する。

土壌の密度化にともなう物理性諸量の変化は相互に関係が認められるとすれば樹木生育に関わる土壌物理性の診断にそのいずれを用いてもよい。御苑の場合はこの条件がほぼ満足され、指標値として以下のようにまとめた。

健全区：容積重 < 100g/100cc, 浸透能 > 100mm/hr, 表層土N₄ 値 < 10.

衰退区：同上 > 100g/100cc, < 20mm/hr, > 30.

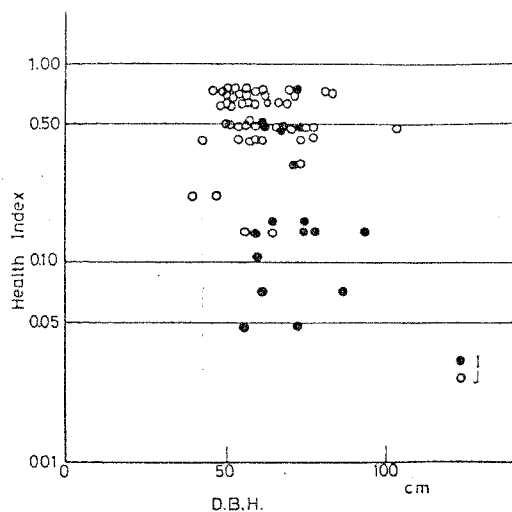


Fig.1.10

Relation between health index and D.B.H. (I and J area)

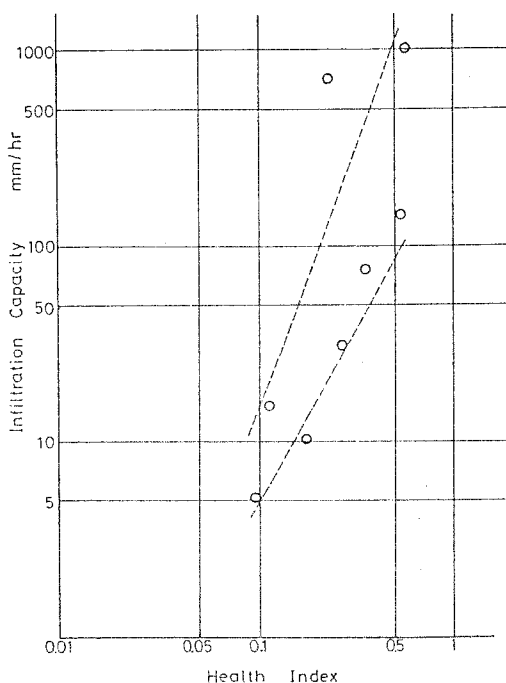


Fig.1.11

Relation between health index and infiltration capacity

Tab.1.4 Percentage of trees in each classification of withered branches.

Primarily scaffold branch	Intermediate branch	Species*	Fine branch		
			-	+	++
0~0.15	-	Z.s A.s C.s Total	14.8% 38.9 31.6 19.4		
	+	Z.s A.s C.s Total	20.6 38.9 21.9 22.3	3.9 3.3	
	++	Z.s C.s Total	3.9 5.3 3.8	7.1 10.5 7.1	2.6 1.9
0.15~0.3	-	Z.s C.s Total	7.7 5.3 6.6		
	+	Z.s A.s C.s Total	16.8 22.2 7.9 15.6	0.6 0.5	
	++	Z.s C.s Total	8.4 6.6	2.6 7.9 3.3	0.6 0.5
0.3~	-	Z.s Total	0.6 0.5		
	+	Z.s Total	3.2 2.4		
	++	Z.s C.s Total	1.9 5.3 1.4	2.6 5.3 2.8	2.6 1.9

* Z.s : *Zelkova serrata* Makino. 155 trees.
A.s : *Aphananthe aspera* Planch. 18 trees.
C.s : *Celtis sinensis* Pers. var. *japonica* Nakai 38 trees.

Tab.1.5 Average "Health index" and type of utilization in each area.

Area	Health index	Type of utilization
D	0.056	Parking
E	0.099	Playground
F	0.122	Playground
I	0.177	Ground
C	0.151	Mound in playground
E	0.232	Grass, partially bare, foot pass
A	0.271	Grass
G	0.312	Grass, partially bare, foot pass
H	0.336	Grass, partially bare, foot pass
L	0.349	Grass, sometimes used for walking
M	0.351	Grass, partially bare, protected by fence
J	0.553	Grass, covered with litter, seldom used
K	0.568	Grass, covered with litter, seldom used

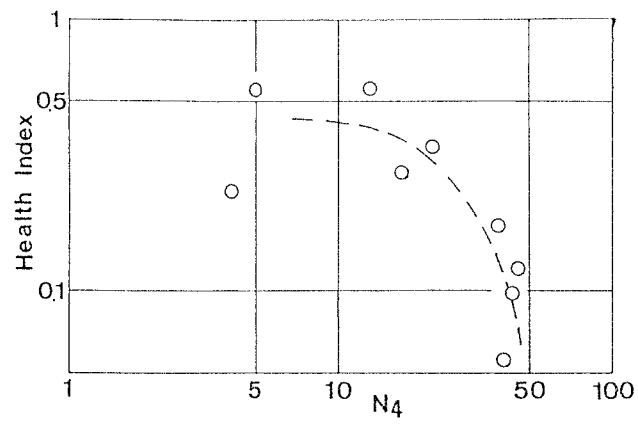


Fig.1.12 Relation between health index and N_4 of surface soil.

1-2 都市公園に植栽されたケヤキの生育に及ぼす土壌密度の影響

前項では、近年まで健全に生育していたと思われる樹木の衰退が利用による踏圧にともなう表層土固結化によるところが大きいと推察された。しかし、対象とした京都御苑の樹木は、一部の衰退したものをのぞけば、一般の都市公園に植栽された樹木より一見して大きくかつ健全である。この差は単に御苑の樹木の樹令が古く、(ケヤキは明治初期に植栽されたものが多いと推察される)都市公園のものが新しいからだけでなく、植栽時の生育基盤が一般の都市公園では不良なことも少なくないからとも考えられる。

本項では、岐阜市のそうした都市公園を対象とし、生育基盤の土壌の諸性質と植栽木のケヤキ(*Zerkova serrata* Makino)の生育の関連を扱う。ここで調査された土壌の諸性質と植栽木の諸性質は、造成時の転圧などの諸条件とその後の管理、利用などの条件の両者を反映していると考えられる。

(1) 調査地の概況

対象とした岐阜市の都市公園はすべて平地部にあり、長良川の緩扇状地もしくは沖積平野に作られたものである。年平均気温は14.7℃、降水量は1904mm(理科年表、昭51による)で6,7,9月の雨量が多く冬期は少ない。

一般に、公園造成は地ならしが行われた上に、いわゆるマサ土が少し客土されたものが多い。児童公園、近隣公園の樹木は列植もしくは単木的に植えられたものが多く、群植は少ない。植栽帯はコンクリートの縁石でかこまれていることが多いが利用による踏圧が加わっていることもよくあり、除草も行われ地表状態は概して裸地である。

(2) 調査方法

都市公園の樹木の生育状態を比較する場合、植栽時の形状や年度のちがい、剪定の影響などがあるので、1回の調査では主観的な判断に頼らざるを得ないこともある。ここでは比較的多くの公園に植栽され、剪定のほとんど行われない樹種としてケヤキを選び都市公園17か所を対象とした。

各公園でほぼ均一な条件にある植栽場所を選び、胸高直径、樹高、樹勢を調べた。樹勢を判断する基準として、枝の枯損状況や新梢の伸長に注目し、樹冠密度にほぼ異常が認められないものを「正常」、枝の枯損が多く、新梢の伸長が悪いことによって樹冠がそになっているものを「疎」、中間を「やや疎」としてすべて筆者が判定した。また「正常」を2点、「やや疎」を1点、「疎」を0点として公園ごとに平均値を求め、樹勢がよくてほとんど問題のない2.00～1.75を「A」、1.75～1.5を「B」、1.5～1.00を「C」、それ以下を「D」と4段階の区分を行なった。

樹木の植栽されている代表的な地点で表層土を 400ccサンプラーで採取し、自然状態の容積重、孔隙量、最大容水量、最小容気量、透水速度を常法にしたがって求めた。また小型貫入試験器で土壌の堅さを求めた。

同時に攪乱試料も採取して、化学性の分析に供し、pHはイオンアナライザーで、置換性塩基のカリウム、ナトリウムは炎光光度計で、カルシウム、マグネシウムは原子吸光光度計で分析した。

(3) 調査結果と考察

A. 樹木の生育状況

調査木の植栽後経過年数は岐阜公園をのぞけば 4~27年で胸高直径は 4~35cm, 樹高は 3.5~14m である。岐阜公園の植栽年は不明であるが他より年数を経ており大径木が多い。

これらが植栽されたときの形状は一定しないが、岐阜市当局の資料によれば、ほぼ樹高 3~6m, 胸高直径は 5~10数cmと見られる。

Fig. 1.13 に示したのは樹木のD-H関係で、ふつう同一の林分で見られるものよりバラツキが大きく、形状比はほぼ30~70の間にある。特に胸高直径25cm以上のものは岐阜公園以外ではすべて45以下なのに対し、岐阜公園では70前後で他と明らかに区別される。すなわち、一般の公園のケヤキは樹高が低い。この原因には単木的に育っているものが多く林分状態になっていないことがまず指摘できる。

樹冠の正常なものと疎なもので形状比に大きな差はないが、胸高直径15cm以上のもので樹冠の疎なものは樹高が小さい傾向は認められるようだ。

Tab. 1.6に調査木の状況を示す。全体の約1/3 は明らかに生育状態のよくないケヤキとなっている。公園毎の樹勢の平均値による区分は、その評価が相対的、主観的で厳密性に欠けるが、樹木の生育が不良な公園が決して少なくないことを示している。

B. 土壌の物理性

一般に規模の小さな都市公園では植栽帯の規模も小さく、列植や単木植栽が多い。植栽帯が広場的な利用の行われている例は多いし、広場の中央に植えられている場合もある。このような例では利用による踏圧が大きく、土壌は固結している場合が多い。さきにのべた樹木の生育状態の良否も、この土壌の固結状態と関係が深いのではないかと考え、表層土の物理性を調査した。

まず土壌の密度の指標となる容積重は 117~170g/cc で、モードは 130~140ときわめて大きな値を示した。普通、優良な林地では40~60ぐらいで、100をこえればせき悪林地と考えてよいほどであるので、いかにち密な土壌が多いかを示している。容積重が大きいので孔隙量は必然的に小さくなっている。また同時に、保水性の指標となる最大容水量も大きな値をとりえない。最大容水量と採取時水分量には正の相関があり、最大容水量の少

Tab.1.6 List of surveyed parks and tree growth conditions.

Park	Planting Type	Soil Surface		Tram- pling *(3)	Number of Surveyed Trees in Each Crown Density Class*(4)				Average Tree Growth Condition *(5)
		Litter *(1)	Grass *(2)		Normal Density	Rather Low Density	Low Density	Total	
1.Yatsuume	Line	-	-	++	3	1		4	B
2.Seiryu	Line	-	-	++	2	2	10	14	D
3.Hongo	Group	-	-	+	3	1		4	B
4.Kitano	Line	-	-	++	2	3		5	C
5.Kanonisi	Line	-	-	++	3	1		4	B
6.Kikuchi	Single	-	-	+	2	2		4	C
7.Honjonishi	Single	-	-	++			5	5	D
8.Kinomoto	Line	-	+	+	3			3	A
9.Mizohata	Line	-	+	+	4	4		8	C
10.Fukko	Line	-	-	++		4	2	6	D
11.Yashiro	Line	-	-	++		3	1	4	D
12.Mishima	Line	-	+	+	2	3		5	C
13.Kogane	Single	-	+	++			2	2	D
14.Kinryu	Line	-	-	++		3	4	7	D
15.Kanezono	Line	-	-	++		2	3	5	D
16.Bairin	Group	+	+	+	9	2	1	12	B
17.Gifu	Group	++	++	-	5			5	A
Total					38	31	28	97	C

(1),(2) -:bare ground, +:a little of grass or litter, ++:Covered with grass or litter.

(3) -:no trampling, +:occasional trampling, ++severe trampling.

(4) Divided into three classes by the observation.

(5) Giving 2 points to the "Normal" trees, 1 points to the "Rather low density" trees and 0 to the "Low density" trees, average tree growth conditions were divided into four classes, A:2-1.75, B:1.74-1.50, C:1.49-1.00, D:0.99-.

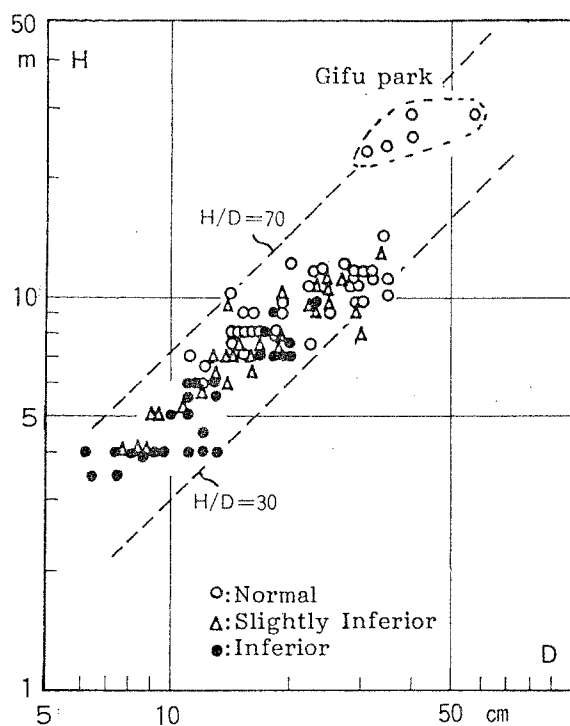


Fig.1.13 D-H relation of surveyed trees.

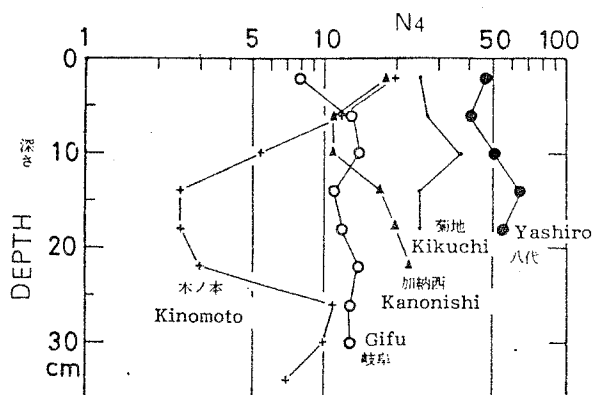


Fig.1.14 Some examples of the penetrating tests.

Tab.1.7 Physical properties of surface soils of city parks in Gifu

Park No.	Volume Weight		Porosity		Volume Percent (1) (2)								Perco- lation Rate	N ₄
	(1)	(2)	(1)	(2)	Gra- vel	Fine Soil	Water	Water Max.	Air Min.	Water Max.	Air Min.			
	g/100cc	g/100cc	%	%	%	%	%	%	%	%	%	cc/min		
1. 八 梅	148	126	40.8	52.3	22.0	39.2	20.3	35.1	5.7	45.0	7.3	201	16	
2. 青 柳	179	156	36.2	40.3	10.3	53.5	11.4	18.6	17.6	20.7	19.6	0.9	25	
3. 本 郷	158	150	39.4	43.4	9.3	51.3	24.5	32.6	6.8	35.9	7.5	1.0	14	
4. 北 野	147	128	41.7	51.1	18.5	39.8	16.1	36.3	5.4	44.5	6.6	48	20	
5. 加納西	139	136	45.0	47.3	4.8	50.2	26.9	39.2	5.8	41.2	6.1	13	18	
6. 菊 地	138	131	46.6	49.8	6.3	47.1	24.9	36.7	9.9	39.2	10.6	24	25	
7. 本荘西	159	138	37.0	47.3	21.8	41.2	13.9	30.3	6.7	38.7	8.6	9.7	42	
8. 木ノ本	154	150	40.7	42.5	5.0	54.3	19.9	34.5	6.2	36.3	6.2	5.2	20	
9. 潁 旗	138	124	46.2	46.2	11.5	42.3	16.1	36.0	10.2	36.0	10.2	18	11	
10. 福 光	164	148	35.9	44.7	19.8	44.3	20.2	32.6	3.3	40.6	4.1	0.0	30	
11. 八 代	145	133	43.9	49.9	12.0	44.1	19.0	36.1	7.8	41.0	8.9	56	48	
12. 美 鳥	139	137	46.3	48.0	3.5	50.2	28.9	41.1	5.2	42.6	5.4	2.0	18	
13. 金 湊													37	
14. 金 竜													73	
15. 金 岡	174	170	34.8	36.7	5.2	60.2	24.6	34.8	0.0	36.7	0.0	2.5	80	
16. 梅 林	137	117	47.6	55.6	14.3	38.1	20.8	35.7	11.9	41.7	13.9	102	31	
17. 岐 阜	139	133	46.6	49.5	5.8	47.6	29.5	41.5	5.1	44.1	5.4	3.8	8	

ないものは夏期乾燥時に不利となろう。

一方、通気透水性の指標となる最小容気量は10% 前後ないしそれ以下のものがほとんどであり、多くの公園では表層土の粗大な孔隙がたいへん少ないといえよう。

透水速度を測定した結果はほぼ以上の事実をうらづけるもので、100cc/min 以上のものはわずか2箇所のみで、10cc/min未満のものも多かった。通気透水性は樹木の生育と極めて関係が深いことが知られており⁵⁾、優良な林地ではふつう100cc/min を超える。なお、透水速度を飽和透水係数に換算すれば（水位差5cm、土壌断面積 100cm²、厚さ4cm）、10cc/minは 1.3×10^{-3} cm/secに相当する。林地の土壌と比較してかなりち密である。このようないち密な土壌を現地で簡便に評価する方法として小型貫入試験器を用いてN₄ 値を調べた。Fig. 1.14 にその結果を示す。八代公園では表面も下部も強く、岐阜公園では全体にやわらかく、菊地公園ではその中間的な値である。木ノ本公園では特異な例で、下部はゴミの埋立てのために異常にやわらかく、表面の客土がややち密になっている。この土壌の堅さを表現するN₄ 値を4階級に分け、先の公園毎の樹勢との相関を見たのがTab. 1.8 である。すなわち、N₄ 値10未満では樹勢は良いが、20をこえるとかなり悪くなる傾向が見られる。この相関係数は 0.8302 と高い値が得られた。N₄ 値は容積重や透水係数など他の物理性諸量と相互に関連を持つが、樹勢との相関はN₄ 値が最も良い。

C. 土壌の化学性

土壌の化学性はTab. 1.9に示したとうりである。pHは中性ないし弱アルカリ性が多い。街路樹の土壌に見られるほどアルカリ化は進んでいないようだが、コンクリート構造物の付近ではpHが上がっている。これは置換性塩基のうちカルシウムの割合が多い事実と関連しており、コンクリートからカルシウムが土壌に供給されるためであり、岐阜市の場合も街路樹土壌でこの事実が確かめられた⁹⁾。しかしpHが 9を超えるような高いものを除けば、ケヤキの生育に大きな影響を与えるとは考えにくい。

他の置換性塩基ではマグネシウムは総じて同じレベルであったが、カリウム、ナトリウムはときに大きな値が得られた。とはいえ、ケヤキの生育に大きな問題はないだろう。

炭素およびチッ素は土壌の発達を反映すると考えられるが、炭素は最高で 1.62% チッ素は 0.147% と林地と比べると極めて小さな値である。

植栽後の経過年数と炭素含有率の関係をみたのがFig. 1.15 でこれによると、年数による増加の傾向は明確とはいえない。他の調査例（1-4 参照）も含めて土壌物理性の基本的な性質である容積重と炭素含有率の関係をみたのがFig. 1.16 である。すなわち、容積重の小さいものは炭素含有率も多く、有機物が集積すれば構造が発達して容積重が小さくなっていく傾向の中で、岐阜市の都市公園ではち密で有機物が少ない状態にとどまっていることが分る。これは清掃や除草、踏圧などにより地表が固結化し、裸地になっていることによるのだろう。この例では容積重が 120~140g/cc をこえると地表はほぼ裸地とみてよいように思われる。

Tab.1.8 Correlation of tree vigour and surface soil hardness.

Tree Vigour (2)	Surface Soil Hardness (1)				Total
	A	B	C	D	
A	1	1			2
B		3	1		4
C		3	1		4
D			3	4	7
Total	1	7	5	4	17

- (1) N_4 value by the Corn penetrometer,
A:less than 10 (Very soft)
B:10 to 20
C:20 to 40
D:more than 40 (Very hard)
- (2) See the former table.
- (3) Correlation coefficient of the decline of Vigour and the soil hardness is 0.8302.

Tab.1.9 Chemical properties of surveyed soils.

Park No.	PH (H ₂ O)	T-C %	T-N %	Exchangeable Base			
				K	Na	Ca	Mg
				me/100 g			
1	8.02	1.51	0.077	0.310	0.017	10.98	0.51
2	7.64	0.48	0.041	0.189	0.029	7.09	0.55
3	6.56	0.99	0.066	0.148	0.017	3.49	0.42
4	6.62	1.62	0.059	0.567	0.059	8.38	0.47
5	6.46	1.11	0.064	0.792	0.049	4.49	0.57
6	5.34	1.58	0.147	1.099	0.352	6.29	0.30
7	7.54	0.75	0.033	0.156	0.036	8.58	0.35
8	6.72	0.77	0.046	0.327	0.048	4.99	0.30
9	6.80	1.16	0.059	0.291	0.024	5.39	0.35
10	5.44	0.07	0.015	0.115	0.031	1.51	0.44
11	7.40	0.89	0.051	0.262	0.262	6.29	0.63
12	5.94	0.82	0.061	0.286	0.033	3.84	0.53
13	7.88	0.53	0.036	0.156	0.035	7.39	0.43
14	9.02	0.41	0.020	0.148	0.043	9.98	0.35
15	7.60	0.10	0.010	0.156	0.069	5.94	0.44
16	6.08	1.16	0.097	0.173	0.030	4.99	0.73
17	5.94	1.50	0.112	0.120	0.033	4.04	0.45

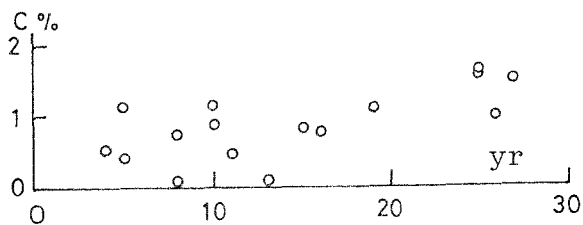


Fig.1.15

Relation between years after construction and carbon content of surface soils.

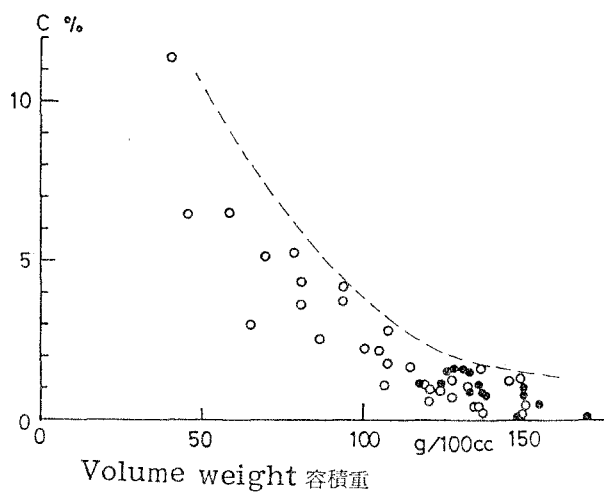


Fig.1.16 Relation between volume weight and carbon content rate of surface soils.

- : Planted area in Kyoto and Osaka(see 1-4)
● : Surveyed parks in Gifu city.

以上の結果をまとめてみれば、土壌表層の N_4 値が樹木の生育と最も関係が顕著で、10未満では健全で、20以上ではかなり生育に問題がみられた。造成時の転圧と利用にともなう踏圧による表層土のち密化が N_4 値に反映していると考えられる。

1-3 基盤造成時の土壌固結がケヤキとソメイヨシノ植栽木の生育に及ぼす影響.

近年、工場立地法の制定もあって、土地造成を行なった工場敷地の緑化が盛んになってきている。その緑化手法は目的や立地条件に応じて多様であり、植栽基盤も多様であるが、土地造成によって特殊土と呼ばれる不良な植栽基盤が出現することも稀でない。これらの多くの事例に共通な問題点は大きく分けてつぎの2点に絞られよう。第1に土壌が未熟であり、特に有機物やチッ素の蓄積がほとんどないこと、第2に造成時に使用する重機で土壌が締め固まったり、ち密な下層土が露出して、いわゆる固結土壌となっていることである。

前項では、造成時の締め固まりとその後の踏圧による固結化を区別できなかったが、本項では、植栽後の踏圧はほぼ無視できる工場緑化の事例を取りあげ、植栽木の生育に及ぼす造成時の土壌固結の影響を明らかにし、土壌要因強度の判定基準値を得ようとした。

(1) 調査地の概況

調査地は愛知県豊田市およびその付近の丘陵地帯に造成された豊田自動車工業の用地に設けられた緑地である。造成は在来地盤を切盛りすることによって行なわれ、平坦になった地盤に通常のツボ穴植栽法でケヤキやソメイヨシノが導入されている。対象地は元町工場と三好工場が主で、両者とも切取り面はもちろん、盛土部分でも造成時の重機による転圧で固結しているところが少なくない。さらに固結していない基盤に同様の方法で植栽された例として大林寮前庭も調査し対照区と考えた。

これらの調査地の表層地質は新第3紀ないし洪積世の地層で細粒質の層と粗粒質(砂質)の互層となっている。なお、付近の林地には赤黄色土もみられ、せき悪なアカマツの林が多い。

気候的な条件はこれらの調査地間で差はないと考えられる。

植栽木は病虫害の防除のために薬剤散布が行なわれ、ソメイヨシノは近年、肥料の葉面散布が行われている。

これらの樹木は約5m間隔の列植となっていてところどころがほとんどで、植栽密度による生育への影響はないと判断される。

(2) 調査法

調査地を切盛りの違いや植栽年度によって、元町は8地区、三好は3地区に区分し、大林を含めて計12地区のケヤキ 107本、ソメイヨシノ (*Prunus x yedoensis* Matsum.) 80本の生育状態の評価を行い、地区ごとの代表的な地点で土壌調査を行なった。(Fig.1.17)

地区ごとの造成状況は元町:切取り3区、盛土2区、ほぼ元地盤3区で、三好:切取り1区、盛土2区、大林は盛土である。樹木生育については胸高直径Dと樹高H、枝張りW

(MIYOSHI) (MOTOMACHI)

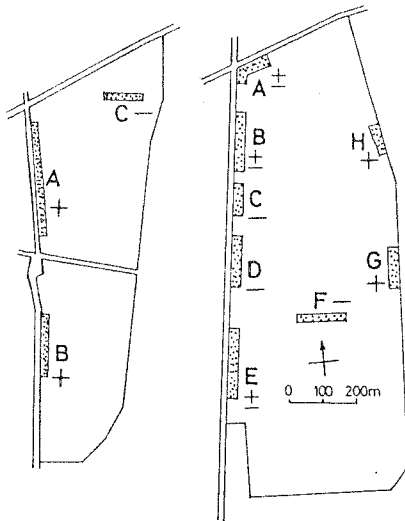


Fig.1.17 Surveyed tree planted area.
(+ : Fill, - : Cut, ± : Nearly original GL)

Fig.1.18 Relation between years after planting and D and H (mean and standard deviation).

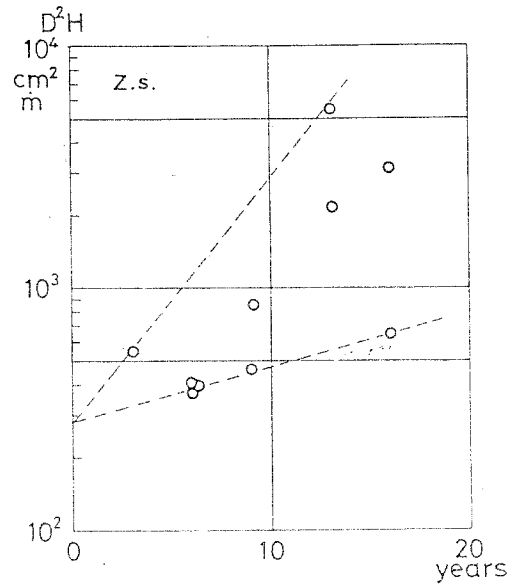
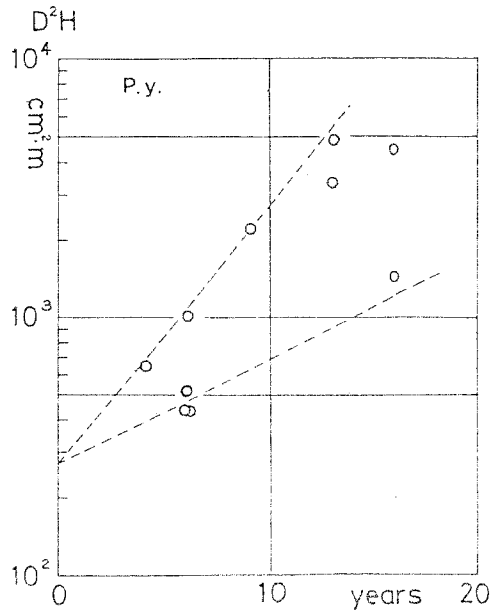
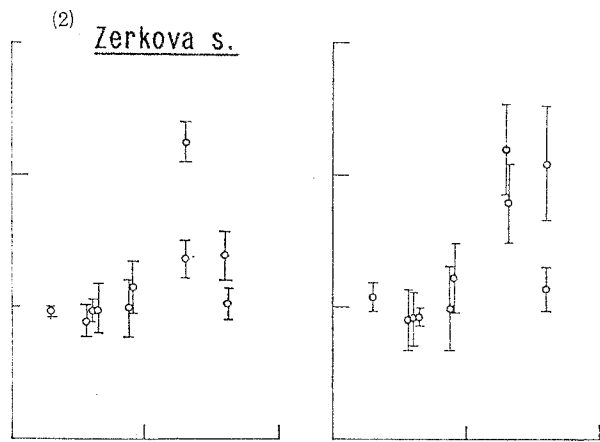
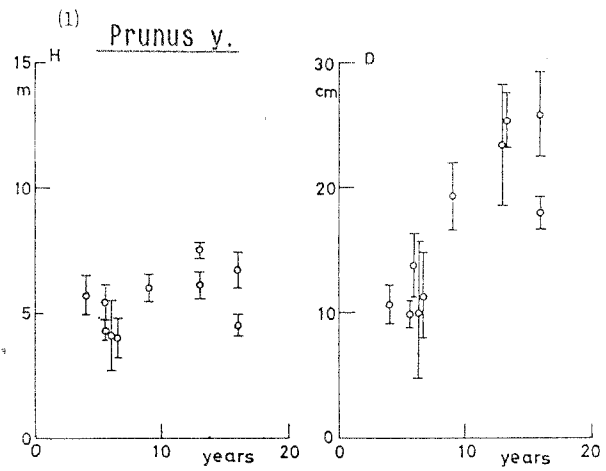


Fig.1.19 Relation between years after planting and averaged $D^2 H$ of each area.

を測定し、地区ごとに葉を全層にわたってサンプリングし、葉面積を測定し（葉面積計で100枚を計測）、葉分析を炭素C、チッ素N（CNコーダーによる）および蛍光X線分析装置で分析できる元素について行なった。

土壌は400cc サンプラーで表層（0～4cm）と下層（20～24cm）の2層、もしくは50～54cm深を加えた3層で採取し、常法¹⁰⁾に従って土壌物理性を求め、化学性は全炭素、全チッ素（CNコーダーによる）とpHについて分析した。さらに、土壌採取地点付近で小型貫入試験器による試験も行ない、固結の程度を把握しようとした。

（3）調査結果と考察

A. 樹木の生育状態

地区ごとに植栽された年度は異なるが、植栽時の規格はほぼ同一で、樹高3～4mの苗が用いられ、その後の剪定は行われていない。樹木生育状態の評価法としては生長量を用いるのが合理的と考えられる。Fig. 1.18 に植栽後の経過年数とDおよびHの関係を示す。なお同一地区内の植栽年度の異なるグループについては別々に示してある。この図によれば地区によって形状に大きな差異がある。ケヤキのHが他よりはるかに大きいものが対照区とした大林地区である。

樹木の生育状態の評価法としてはDやHも用いることができるようだが、樹木の幹材積とよりよい相対生長関係にあるとされる $D^2 H$ の植栽後の経過年数との関係をみたのがFig. 1.19 である。このグラフ上のバラツキの上限付近と下限付近を結んでみると、0年ではほぼ一致し、ケヤキで $280\text{cm}^3\text{m}$ 、ソメイヨシノで $270\text{cm}^3\text{m}$ となった。仮に樹木の $D^2 H$ がこの範囲で指数関数的な生長をしているものとすれば、図上で直線となる。植栽年度の異なる地区どうしの比較のために、一応この仮定を置いてみる。樹木が単木的に植栽されていて密度の影響が少ないこと、また樹木が比較的若いことから考えて、生育の相対的な評価としてこの場合は大幅な誤りはないものと見られる。この仮定によって、植栽後10年目の $D^2 H$ を次式で計算した。

$$\ln X_{10} = \ln X_0 + (\ln X - \ln X_0) \cdot 10/t$$

ただし X_{10} ：植栽10年後の $D^2 H$

X_0 ：植栽時の $D^2 H$ （ケヤキ：280，ソメイヨシノ：270 cm^3m ）

X ：調査時の $D^2 H$

t ：植栽後の経過年数

これによって求めた X_{10} が植栽基盤の良否を示しているものと考え、Tab. 1.10 にまとめた。これによれば、ケヤキでは対照区とした大林地区を1とすると他は0.5以下で、三好では0.2以下となった。ソメイヨシノではこの値の最も大きかった元町E区を基準とすると、三好ではその0.2となる区があった。

同一地区でケヤキとソメイヨシノが植栽されている7地区について生育を比較したのがFig. 1.20 である。これによればケヤキとソメイヨシノの生育はほぼ平行し、またグラフ

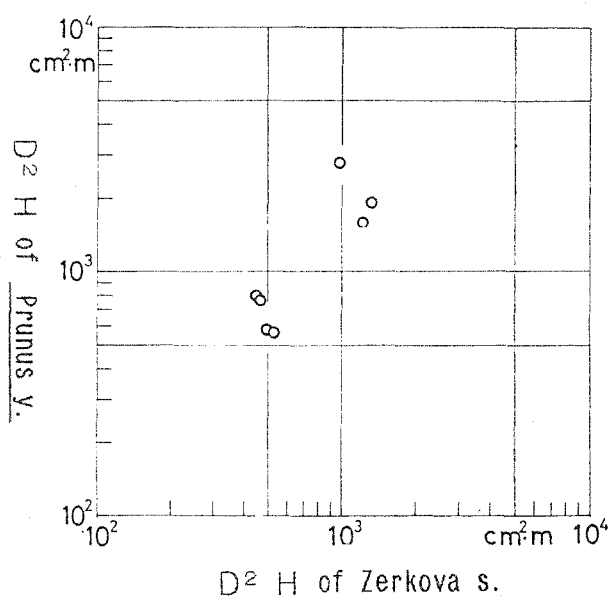


Fig.1.20 Comparison of estimated $D^2 H$ when ten years after planting between Zerkova s. and Prunus y.

Tab.1.10 Site classification of each surveyed area.

Area	<u>Zelkova serrata</u>		<u>Prunus yedoensis</u>		Site Class
	cm ² · m	※(1)	cm ² · m	※(2)	※(3)
Oobayashi	2,711	1.00			I
Moto-A			2,447	0.87	II
machi-B	1,333	0.49	1,885	0.67	II
-C	468	0.17	784	0.28	III
-D	1,219	0.45	1,580	0.56	II
-E	963	0.36	2,816	1.00	II
-F	501	0.19			III
-G			2,326	0.83	II
-H			2,508	0.89	II
Miyoshi-A	444	0.16	786	0.28	III
-B	553	0.20	533	0.20	III
-C	496	0.18	566	0.20	III

※(1) Relative value when Oobayashi is 1.00
 ※(2) Relative value when Motomachi-E is 1.00
 ※(3) I:Normal, II:Intermediate,III:Inferior.

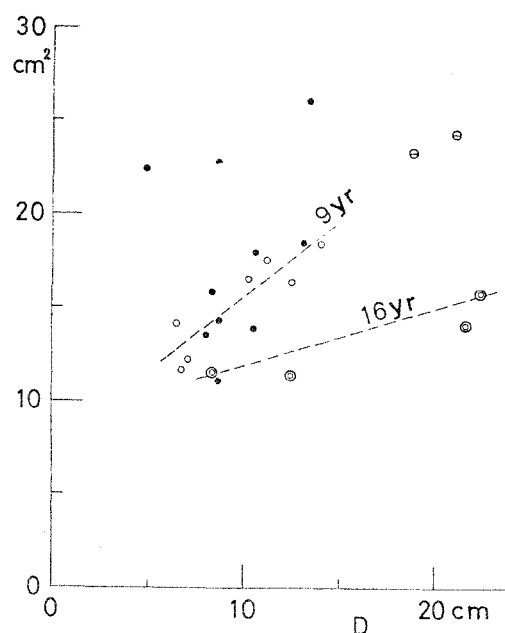


Fig.1.21 Relation between leaf area and diameter of Zerkova s.
 +4, ·:6, °:9, e:13, ⊙:16years after planting.

上で上位のグループと会のものに分離している。元町の6地区が上位グループであるが、大林地区はさきのケヤキの生育から考えて、これらよりも上位に位置するものと考えられる。そこで、植栽基盤の評価として3段階に分類し、さきの表に加えておいた。(なお、植栽後、3年の2個体はまだ立地の影響は少ないと考え、表から除外している)

すべての調査木は新梢の伸長や葉の着生状態に注目して、樹冠粗密度の目視による評価を行なったが、ケヤキに関しては X_{10} による評価とほぼ同一の結果が得られている。(ただしソメイヨシノではケヤキのように、地区によって樹冠粗密度の明確な差が見られなかった)

ここで行なった樹木の生育評価の検討のために、地区ごとの樹木の葉分析を行なった。植栽後の経過年数が同一のもの(樹令にも大きな変動はないと考えられる)において、形状との相関係数を見たところ、Tab. 1.11 のようになった。

まず、ケヤキについては、葉面積が生育と関係が深い。(Fig. 1.21)ケヤキの開花枝は短枝で葉も長枝のものより小さいので、平均葉面積が小さいということは開花が多いことを示しているとも考えられる。通常、生殖生長は栄養生長と相反しやすいので、一定の条件が整えば、ケヤキの場合、葉面積は生育状態判定の手掛かりとなろう。

養分元素のなかではNとSiに生育と有意な相関が見られた。(Fig. 1.22)Nはソメイヨシノについても見られ、また造林木でも生育と有意な相関があるとされているので当然であるが、ケヤキの生育と葉中Siの相関は興味深く、ケヤキが特別にSi含有率の高い植物であること(ソメイヨシノの約20倍であった)と関係があらう。

なお、今回対象としたケヤキのN含有率は土地の栄養条件の良い場合の分析例(2.50%)¹¹⁾よりかなり低い値であった。またP, Ca, Mn, K, S, Cl, Ti, Sr, Br, Fe, Rb, Ba, Pb, Znなどは生育と有意な相関はみられなかった。

B. 土壌条件について

植栽基盤の土壌諸性質をさきに述べた樹木生育の良否のクラス分けに対応させて比較したのがTab. 1.12 である。

容積重は対照区としたところでも物理性の良好な森林土壌のA層(40~60の値であるといわれる)¹⁰⁾の程度までには発達していない。下層土はもっとち密である。樹木生育の不良な地区では容積重が大きい。最大容水量については有意差は見られなかった。一方、最小容気量は生育のよくないところ程小さくなる傾向があり、特に下層土では1%レベルの有意差が見られ、通気透水性に関わる粗大な孔隙に欠けることを示している。

透水速度は表層土では、かえって生育不良区のほうが大きい場合も見られたが、これは表面に5cm程度の芝張り用の客土がなされていることによるものである。一方、下層土の透水速度は生育不良区で極端に小さく、10cc/min未満では特に不良といえるだろう。

3層組成は調査日が同一でなく、また1回のデータであるので、水分と空気については厳密な比較に耐えない面があるが、固相率と空気率に有意差が見られた。三角座標で表現したのがFig. 1.23 である。これによれば、やや不良な地区と不良な地区の下層土の分布

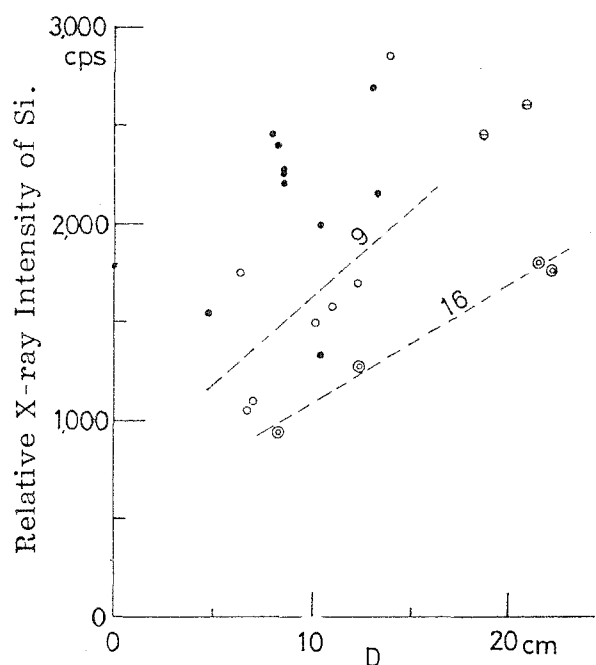


Fig.1.22
Foliar concentrations of Si (Relative X-ray intensity) as related to diameter of Zerkova s.

(Symbols are same as Fig.1.21)

Tab.1.11 Correlation coefficients between results of leaf analysis and growth of trees.

<i>Zerkova s.</i>	yr	N	P	Ca	Mn	Si	LA
D	6	0.552	—	—	—	—	—
	9	0.794*	-0.593	—	—	0.639	0.902**
	16	0.693	-0.759	-0.823	-0.810	0.992**	0.919
H	6	0.599	—	—	—	—	—
	9	0.751	—	—	—	—	0.609
	16	—	—	—	—	0.586	0.860
D ² H	6	0.651*	—	—	—	—	—
	9	0.842*	—	—	—	—	0.890**
	16	—	—	—	-0.601	0.904	0.991**

<i>Prunus y.</i>	yr	N
D	6	0.879*
H	6	0.931**
D ² H	6	0.879*

* : Significant level, $P < 5\%$

** : $P < 1\%$

— : $|R| < 0$.

LA: Leaf area /leaf

Tab.1.12 Comparison of soil properties in terms of tree growth.

Tree Growth	V.W. (g/100cc)		Water Max (%)		Air Min. (%)		PR (cc/min)		T-N (%)	
	Sur.	Sub	Sur	Sub	Sur	Sub	Sur	Sub	Sur	Sub
I (Normal)	79.0	106.6	49.3	37.8	17.7	21.1	34	303	0.199	0.011
II	115.6**	138.0	39.7	37.1	11.7	7.0**	53.3	69.8	0.075*	0.013
III (inferior)	110.0	146.4*	41.1	32.4	11.2	4.3**	118.2	7.7**	0.062*	0.011

Tree Growth	Solid		Water		Air	
	Sur	Sub	Sur	Sub	Sur	Sub
I (Normal)	33.0	41.8	26.0	21.7	41.0	37.2
II	48.6**	55.8*	19.3	24.7	32.1	19.5
III (Inferior)	47.7	63.2**	22.2	24.2	30.1	12.6**

V.W.: Volume Weight

PR : Percolation Rate

T-N : Total Nitrogen

* : Significant difference with site I, $P < 5\%$.

** : , $P < 1\%$.

Sur : 0 to 4 cm depth.

Sub : 20 to 24 cm depth.

範囲が明らかに区別できるようで、前者の固相率は45~60%、後者は60%以上となっている。

以上のように樹木生育に対して下層土のち密度が重要な役割をもっていると考えられるが、その点を小型貫入試験器の N_4 値で見たのがFig. 1.24である。これによると、大林地区が深くまでやわらかく、次いで元町H、Gもかなり下層までやわらかい。他は多かれすくなかれ固結しており特に元町C、Dなどでは盤層があつて、それ以深のデータは得られなかった。なお比較のために成熟した森林土壌と樹木生育良好な樹木園における測定例をFig. 1.25に示す。

林地など発達した土壌の表層では N_4 値は5を超えず、B-C層で10を超え、さきの京都御苑や岐阜市の公園の例では踏圧の激しい広場などでは20を超えている。このことから考えて、当調査地の多くの場所で、造成時の転圧による締め固まりと切取り造成の場合に露出した地盤が堅いことを示している。

樹木の生育評価との関係でみると、0~40cmにわたって「正常区」では15以下で「やや不良区」では同じく20以下である。さらに「不良区」では N_4 値20以上の層がかならず40cmまでにあることがわかる。

土壌の化学性

pHは全般的には酸性ないし弱酸性となっているが、一部で弱アルカリ性も見られる。しかし対象樹木の生育にさしたる問題とは思えない。

土壌中のCは土壌の発達と関係が深いとされているが、当調査地では大林地区を除けば2%に満たず未熟土であることを示し下層土にいたっては有機物の集積はほぼないといえる。なお、大林地区では3~4cmの腐植を含んだ層が表層に見られたが、他はすべてこれより薄い。

NもCと同様に低レベルにある。樹木生育の不良ないしやや不良な地区の表層におけるN含有率は正常な地区より少ない(5%レベルで有意)が、これは初期条件としてのN含有率の差が生育に影響したとは考えにくく、下層の物理性の良好な地区で生育がよく、その結果として表層土に還元されるリターの量が増加して土壌化作用が進み、N含有率の増加となる側面を示していると思われる。

以上の結果をまとめれば、造成地の土壌のち密度は、ケヤキ、ソメイヨシノの生育に大きな影響を与え、特に40cm深より浅いところにち密な層があるとき、生育不良となり、そのような植栽基盤の診断に際しては下層土の容積重や固相率、最小容気量、透水速度、空気量をめやすとすることが可能であり、現場で概略を知るには小型貫入試験器が有効であるといえる。またち密な植栽基盤において生育不良となっている樹木の診断法としては、ケヤキの場合、葉中のN、Si含有率を用いることができ、樹令などの条件を限れば葉面積も手軽な指標となり、ソメイヨシノの場合は葉中N含有率が有効である。

また、この事例における樹木生育不良をまねく土壌の性質の指標値を示すつぎのようになった。

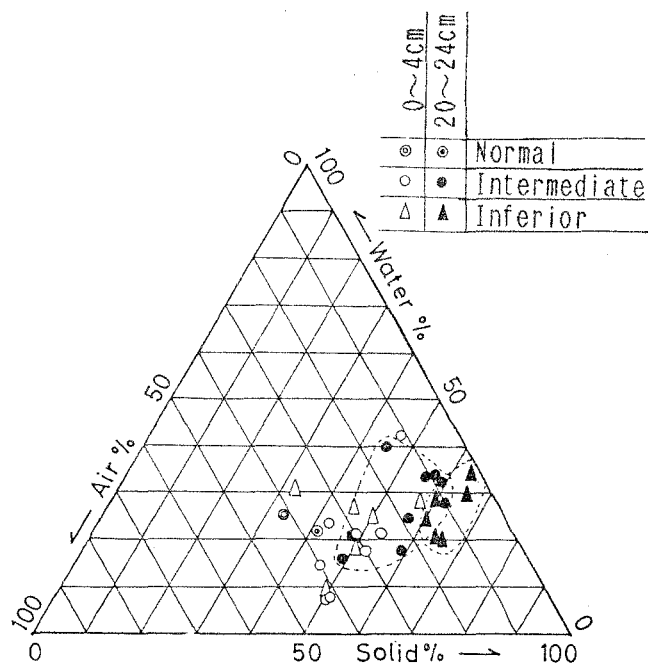


Fig.1.23 Three phase distribution.

(1) "Inferior" areas

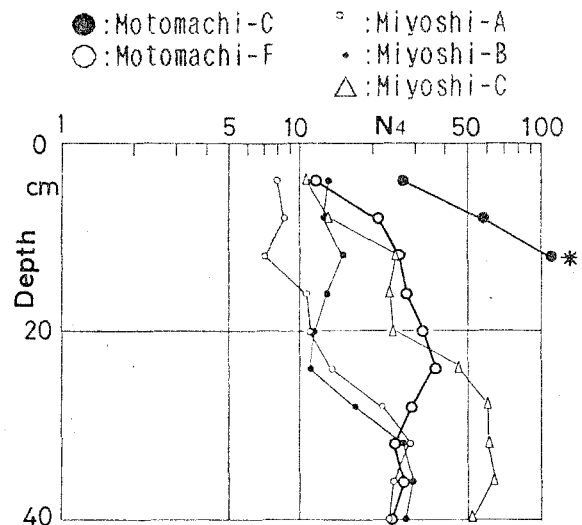


Fig.1.24 Vertical distribution of soil hardness by penetrating tests.

(2) "Normal" and "Intermediate" areas.

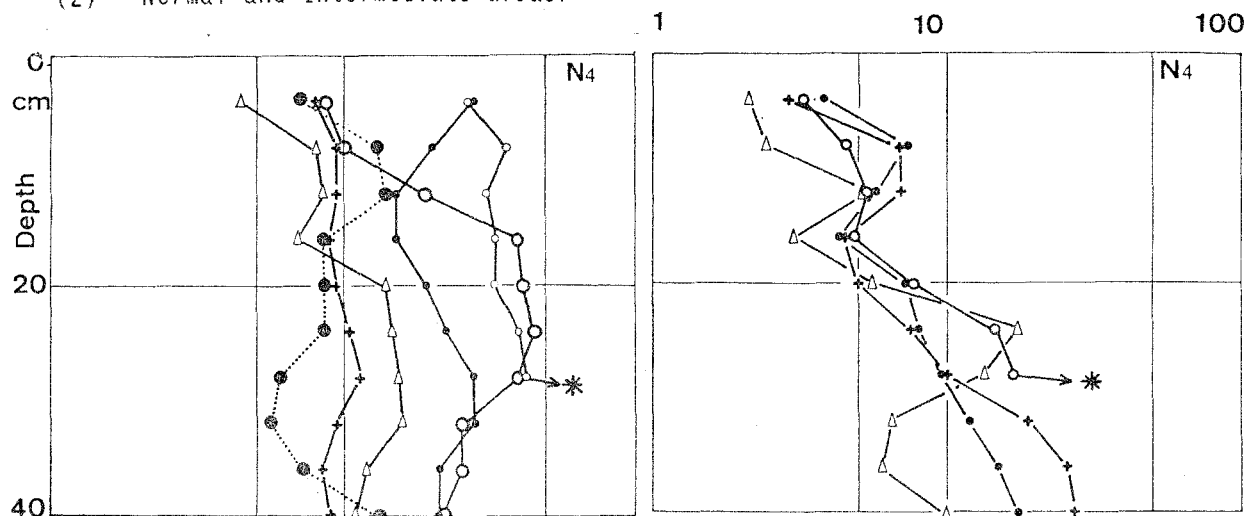


Fig.1.25 Examples of penetrating tests in the normal forests.

•: Flat, Kyoto Univ. Forest, Kitasirakawa, arboretum.
 ◦: Ridge, ———, Asiu fir stand.
 △: Slope (middle part), ———, Asiu Sugi afforested area.
 +: Slope (lower part), ———, ———, ———
 *: Hard rock (N₄ > 100.).

生育不良：固相率 $>60\%$, 最小容気量 $<5\%$, 透水速度 $<10\text{cc/min}$.

生育やや不良：固相率 $45\sim60\%$, 最小容気量 $5\sim10\%$, 透水速度 $10\sim70\text{cc/min}$.

1-4 市街地緑地の土壌物理性の経年変化

既存樹林の公園としての利用による踏圧が樹木衰退をまねいたり、造成時の重機による土壌の締め固まりが植栽木の成績不良をまねく事例を前項までに述べた。その際に調査し把握した土壌の諸性質はその時点での条件を示しており、その造成初期条件やその後の変化傾向は不明といわねばならない。したがって緑地の土壌管理上、この経年変化のようすを明らかにすることによってより正確な診断が可能となろう。本項では、いくつかの市街地緑地で得た資料をもとに、特にち密度の経年変化とそれにおよぼす踏圧の影響について考察を加えた。

(1) 調査地と調査法

京都市の二条、午塚、鳥羽、田中宮、西浦南の各都市公園、白川通および川端通の中央分離帯、京都御苑、京都大学構内緑地、グラウンド、演習林本部試験地樹木見本園、大阪府の香里中央公園、私庭園で採取した表層土を主たる検討の対象とし、さらに経過年数不明の加古川市浜の宮公園、京都大学演習林本部試験地と上賀茂試験地苗畑で耕耘または締め固めて3か月以上経過した場所の調査結果も参考のために検討した。

土壌は草生地ないし裸地化したグラウンドをのぞき、すべて樹木が生育している場所で樹冠の投影面の範囲の表層を採取した。これは樹木の生育と関係の深い範囲であること、表層は土壌の発達や踏圧の影響が顕著にあらわれることがさきに確められていることによる。

土壌採取は1974年1月から1975年12月にかけて200cc サンプラーを用いて行ない、自然状態での物理性を求め、その付近で小型貫入試験器により土壌の堅さを測定した。

調査地は利用形態によって、ほとんど人の侵入のないところを"Trampling-", 広場的な利用が行なわれ踏圧の激しい所を"Trampling++", それらの中間を"Trampling+", として大まかに区分した。

(2) 調査結果と考察

A. ち密度と孔隙特性の経年変化

Tab. 1.13に調査地の条件と土壌分析結果を示す。これに前掲の京都御苑のデータを加えると、容積重の平均は113g/100cc(細土基準)となった。土壌ち密度は、ほかに固相率、硬度などでも表現できる。調査地を踏圧の程度で3段階に区分し、容積重、固相率、小型貫入試験器による N_4 値をTab. 1.14に比較した。これらの値はすべて相互に5%ないし1%レベルの有意差がみられ、踏圧の程度がち密度にきわめて重大な影響を及ぼしていることを示している。

Tab.1.13 General conditions and surface
soil properties of surveyed areas.

Surveyed area	Years after const- ruction	Soil surface*	Trampl- ing**	Volume weight		Three phase distribution			Water Air max. min.		Soil hardness N ₄	Carbon (Fine soil) %	Nitrogen (Fine soil) %
				Soil & fine gravel g/cm ³	soil g/cm ³	Solid %	Water %	Air %	Volume %	Volume %			
1.Exp. forest, Kyoto Univ., Kyoto.	50	L,G	-	65	59	27.5	21.6	50.9	49.2	23.3	4	6.45	0.478
2.Planted area, _____.	50	B	+	151	121	59.4	11.2	29.4	29.0	11.6	15	0.55	0.031
3. _____.	46	B	++	141	128	55.8	14.2	30.0	37.4	6.8	33	1.21	0.067
4. _____.	2	B	+	160	137	61.1	13.5	25.4	31.1	7.8	20	0.14	0.013
5. _____.	1	G	-	142	110	54.6	15.5	29.9	33.0	11.4	7	0.19	0.009
6.Play ground, _____.	50	B	++	163	149	64.6	16.3	19.1	27.5	7.9	42	1.24	0.089
7.Limit of grass area, _____.	50	B	++	150	133	58.5	16.6	24.9	35.8	5.7	19	0.95	0.060
8.Grass, _____.	50	G	+	139	119	53.4	17.4	29.2	38.8	7.8	17	1.07	0.069
9. _____.	50	G	+	114	101	46.6	25.1	28.3	41.4	11.5	8	2.17	0.171
10.Garden, Osaka.	15	L	-	95	87	39.4	22.7	37.9	44.3	21.5	12	2.52	0.148
11.Nijo, Kyoto city park.	40	B	++	149	121	57.0	12.6	30.4	28.9	14.1	45	0.90	0.042
12. _____.	40	B	++	171	151	64.0	13.2	50.8	28.3	7.4	42	0.40	0.017
13.Umazuka, _____.	11	B	++	142	134	56.9	13.2	29.9	38.0	5.1	42	1.14	0.101
14.Tobarikyuato, _____.	1	B	+	157	130	60.7	10.5	28.8	30.6	8.7	27	0.13	0.011
15.Tanakamiya, _____.	1	B	+	151	129	59.4	17.2	23.4	32.4	8.2	13	0.71	0.063
16. _____.	1	B	++	167	134	64.1	9.4	26.5	28.8	7.1	16	tr.	tr.
17.Nishiuraminami, _____.	8	B	++	157	137	60.0	8.1	31.9	32.1	7.9	25	0.43	0.031
18.Street tree, Shirakawa, Kyoto.	5	B	+	139	137	52.6	10.4	37.0	39.4	8.0	13	1.55	0.061
19. _____.	1	B	+	159	135	60.5	2.3	37.2	24.8	14.7	3	0.33	0.011
20. _____, Kawabata, _____.	1	B	+	156	128	59.8	4.3	35.9	31.0	9.2	10	0.68	0.026
21.EXP070 commemorative park, Osaka.	2	B	-	125	108	48.9	27.8	23.3	42.5	8.6	7	1.85	0.046
22. _____.	2	B	-	158	136	59.7	16.6	23.7	30.4	9.9	7	0.31	0.008
23. _____.	1	B	-	136	124	52.6	19.5	27.9	36.8	10.6	10	0.84	0.061
24. _____.	1	B	-	152	150	56.7	27.5	13.8	38.1	3.2	15	0.14	0.014
25.Kori-chuo park, Osaka.	17	G	-	114	108	45.3	30.3	24.4	45.7	9.0	6	1.73	0.11
26. _____.	17	L	-	91	81	38.7	21.8	39.5	42.7	18.6	9	4.33	0.22
27. _____.	17	B	++	122	105	48.7	16.7	34.6	43.9	13.7	8	2.14	0.12
28.Hamagomiya park, Kakogawa, Hyogo.	?	L	-	79	72	31.9	13.0	55.1	26.6	41.5	7	4.47	0.195
29. _____.	?	B	++	142	140	54.4	6.2	39.4	28.1	17.5	3	0.39	0.026

* L:Litter, G:Grass, B:Bare.

** -:No trampling, +:Occasional trampling, ++:Severe trampling

Fig.1.26 に細土基準容積重と経過年数の関係を示す。これらの各調査地はそれぞれ植栽樹木や土壌母材も同一でないこと、追跡調査でないことなど、この図から一定の傾向を読みとることに問題は残るが、すべて関西地方の非火山灰鉱質土壌であり、気候的には暖温帯（いわゆる照葉樹林帯）に属していると考えられるので、大略の傾向をみるのに著しい欠陥はないと考え、以下の考察を進めた。

この図によれば、最も踏圧のすくない“Trampling-”では経過年数とともに明らかに容積重が減少し、50年で60g/100cc 以下となるところもあるのに対し、“Trampling+”では減少はゆるやかであり、最も踏圧の激しい“Trampling++”ではほとんど変化しない。

一般に物理性の良好な森林土壌の容積重は40~60といわれており、¹⁰⁾ “Trampling-”では50年でこのレベルに達するものがあつたことになる。表層 0~5cm の土壌物理性の発達は、この程度の時間オーダーで進行するのであろう。

造成初期では踏圧のないところも容積重が大きく、踏圧の状態を明らかに区分できないが、少なくとも10年以上経過したものなら踏圧の程度は明らかに容積重に反映してくる。図によれば、10年で110、50年以上で90をこえる容積重は何らかの踏圧を受けていることを示していると考えられる。

固相率は真比重、石礫含有率が大幅に変らないかぎり、容積重と1次の正の相関がみられ、本結果も容積重と同様のパターンであつた。（図は省略）

つぎに土壌のかたさをN₄ 値でみた場合をFig.1.27 に示す。これによると造成当初には3~20であるが、1~2年を経たものの下限値は7まで上昇しており、基盤造成時に粗しょうに仕上がられても、ある程度のち密化が造成初期に進行することもあると考えられる。その後“Trampling-”では経過年数とともにN₄ 値は減少し、“Trampling+”はほぼ変化なく、“Trampling++”では増大する。この点はさきの容積重の場合と若干、傾向が異なる。ともに土壌のち密度を示す指標ではあるが、造成当初の攪乱を受けた直後の土壌ではそうでないものより同じ容積重でもN₄ 値は小さい傾向があり、これは攪乱による構造の破壊とも関係するのであろう。

つぎに孔隙の特性として最大容水量および最小容気量と経過年数の関係をFig.1.28, 29に示す。最大容水量は“Trampling-, +”では経過年数とともに漸増するようであるが、“Trampling++”では変化は不明である。

一方、最小容気量は造成初期に減少の傾向があり、のち“Trampling-”では回復し、かなり大きな値をとるものもでてくるが、“Trampling+, ++”ではほぼ15%(細土容量基準)をこえない。つまり、踏圧は土壌の発達にともなう粗大な孔隙の増加をおさえている。なお、造成初期の減少傾向は踏圧の有無にかかわらず、無構造の未熟土が降雨などの自然的な要因で粗大な孔隙がつまったり、徐々に構造が生じていく現象を示していると思われる。

B. 物理性の相互関係

ち密度が増加すれば孔隙量が減少するのはすでに述べた。その孔隙の特性を最大容水量と最小容気量について、容積重との関係でみたのがFig.1.30, 31 である。経過年数によ

Tab.1.14 Comparison of surface soil compactness.

(Each value has a significant difference, 5 or 1% level, from each other.)

	Trampling -(14)*		Trampling +(14)		Trampling ++(13)	
	Mean	sd	mean	sd	mean	sd
Volume weight (fine soil) g/100cm ³	92.6	30.7	117.1	18.4	131.2	14.4
Solid phase %	44.2	10.5	55.4	5.3	59.6	5.1
N ₄ value	7.9	3.4	19.2	11.1	30.9	15.0

* Each number in parentheses means the number of samples.

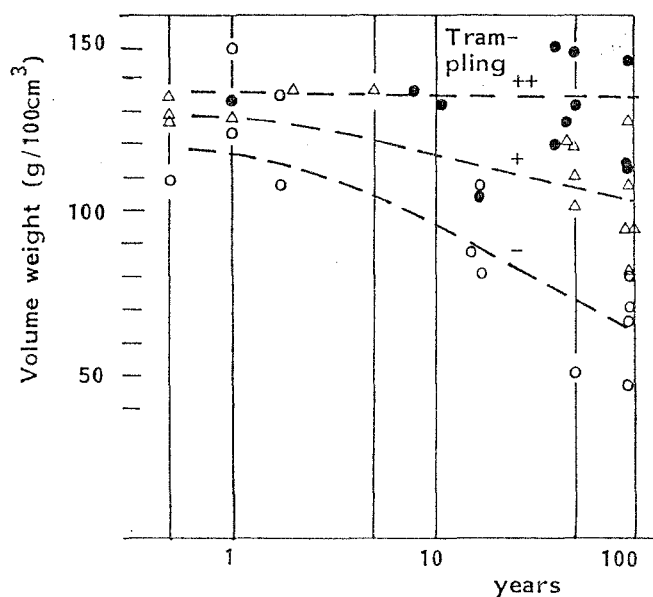


Fig.1.26
Relation between volume weight
and years after construction.
(○:Trampling-, △: +, ●: ++,
Same as Fig.1.27~29)

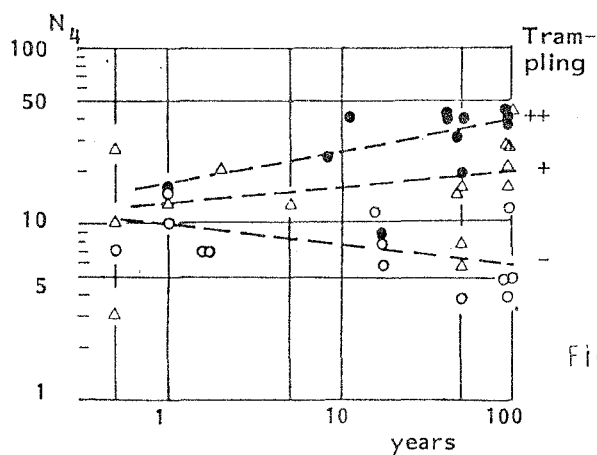


Fig.1.27 Relation between N₄ and years
after construction.

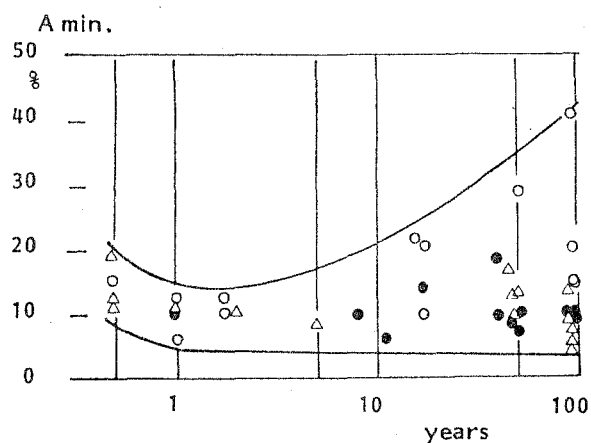


Fig.1.28 Relation between minimum air capacity(A min.) and years after construction.

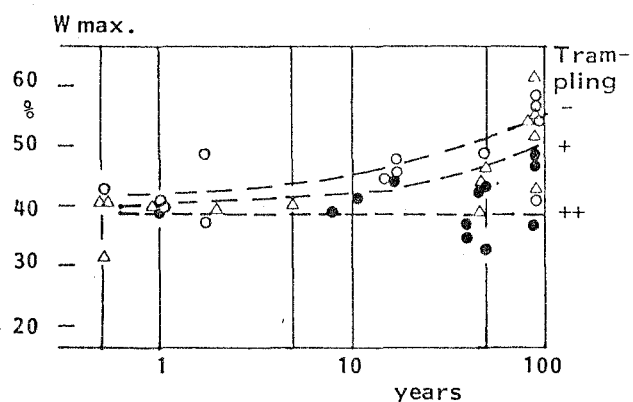


Fig.1.29 Relation between maximum water holding capacity(W.max.)and years after construction.

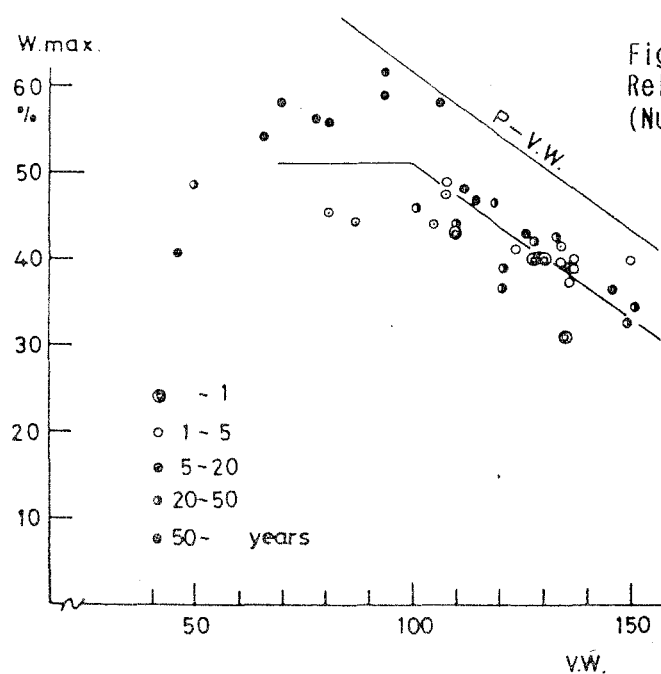


Fig.1.30
Relation between volume weight and W.max.
(Numbers are years after construction)

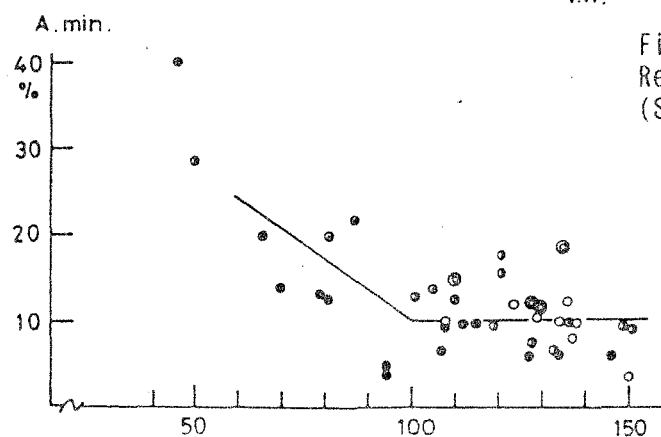


Fig.1.31
Relation between volume weight and A.min.
(Symbols are same as Fig.1.30)

て区分して示したが、新しいものでは容積重が大きいこと以外にはこれらの関係に大きな影響は与えていない。最大容水量と最小容気量は容積重 100前後を境に変化のようすが異なり、100以下の領域では容積重の増加に対して最小容気量の減少が、またそれ以上の増加に対しては最大容水量の減少が対応しているようである。図中に容積重－孔隙量の関係の平均的な線を示した。かりに容積重 100以下で最小容気量一定とすると、容積重10の増加に対し、最小容気量が平均 3.6% 減少することがわかる。

この関係は全体としてみれば変動がかなり大きいので、地域など、土壌の種類を分けて検討してみた。Fig. 1.32は造成後5年未満のマサ土（花崗岩風化土）のみを示したもので、容積重はほぼ 110以上最小容気量はほぼ一定で、容積重の増加に対して最大容水量が減少している。

Fig. 1.33は京都大学グラウンドの事例で、容積重の小さいものは踏圧が少なくて草生地であり、容積重が大きくなるほど踏圧が大きく裸地となっている。これによれば、容積重 120（一部裸地状態）を境にそれ以上の増加に対して最大容水量が減少する。

Fig. 1.34は粒径のそろった砂土の例で、香里は大阪層群に属するいわゆる山砂、加古川は海岸沖積平野のいわゆる海砂を母材とする。これらの試料は経過年数不明のものも含んでいる。香里ではすべて容積重 110以下で、最大容水量はほぼ一定、最小容気量が容積重の変化に対応して変化している。加古川はクロマツ林下の土壌で、容積重の小さいものは著しく最小容気量の大きなものがあり、一定の傾向は読みとりにくい。

Fig. 1.35は苗畑で加踏圧試験を行なった事例（2章参照）であり北白川は花崗岩風化土を母材とする沖積層で造成された苗畑で、全炭素を 0.8～1.5% 含んでいる粗粒質土であり、上賀茂は古生層粘板岩を母材とする風化土で造成された苗畑で全炭素を 0.2～1%含んでいる細粒質土である。これによれば、北白川では最大容水量はゆるやかな凸型、最小容気量は容積重 110くらいでおれまがり、さきのグラウンドの例に類似する。しかし上賀茂では特にそのような不連続な変化のようすは明らかでない。

以上から一部の例外を除き、容積重 100～120を境界に孔隙特性が変化する傾向がみられることが判明した。なお、さきのマサ土の新しい造成地ではこの境界よりち密度の低い土壌は出現していないとみられる。踏圧によるち密化現象も、さきの御苑の例のように最小容気量減少の過程と最大容水量減少の過程の2段階に、この境界で分類できる土壌が少なくないといえるだろう。

つぎに、ち密度の目やすとなる容積重と N_4 値の関係をみたのがFig. 1.36でたいへん変動が大きい。しかし土壌の種類を限れば両者の相関は高くなる。Fig. 1.37はさきの苗畑土壌の例であり、 N_4 値の対数と容積重は1次の相関がみられる。しかし、Fig. 1.38に示したように、香里、加古川のような粒径のそろった砂土では N_4 値が容積重に無関係にほぼ一定であるが、マサ土では容積重の増加に対する N_4 の増加が急で、かつバラツキも大きい。これは粒径のそろった砂土では土粒子の密度が増加しても凝集力に欠けること、さらにマサ土では締め固まりやすく、締め固まると隙が多いために N_4 値が大きくかつ変動し

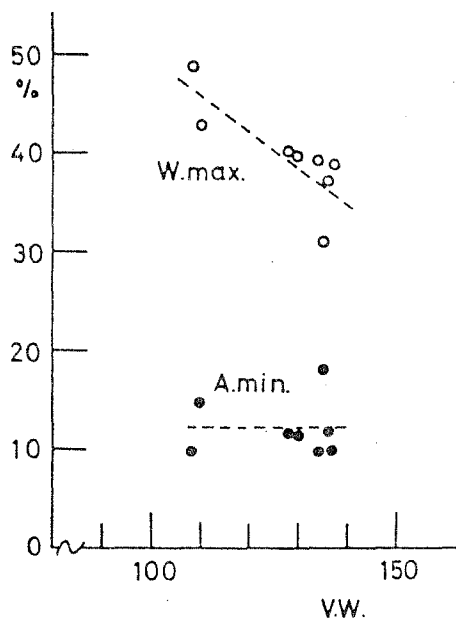


Fig.1.32
W.max. and A.min. characteristics of newly constructed area by Masa-soil.

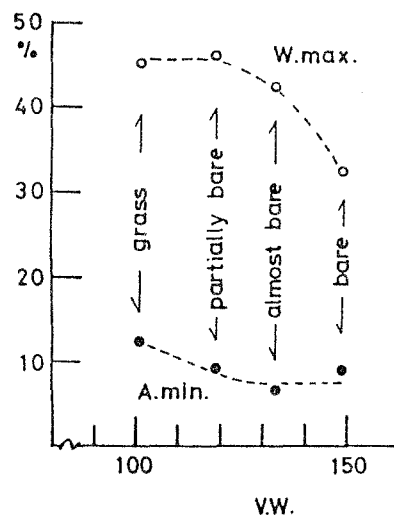


Fig.1.33
W.max. and A.min. characteristics along the enviromental gradient of surface vegetative cover. (Play ground, Kyoto Univ.)

W.max.	A.min.	
○	●	香里 孟土
△	▲	加古川
△	▲	下層土

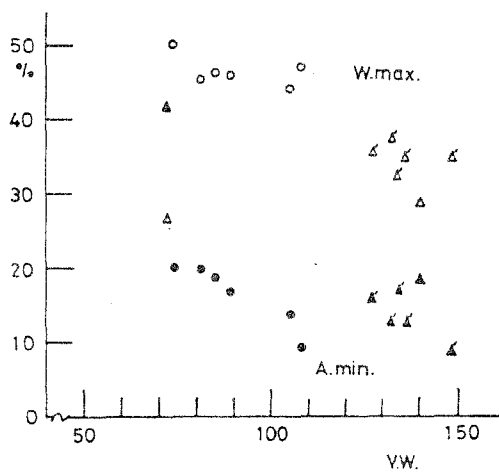


Fig.1.34
W.max. and A.min. characteristics of well grained sandy soils.

- top soil > Kitashirakawa
- sub soil
- △ top soil > Kamigamo
- ▲ sub soil

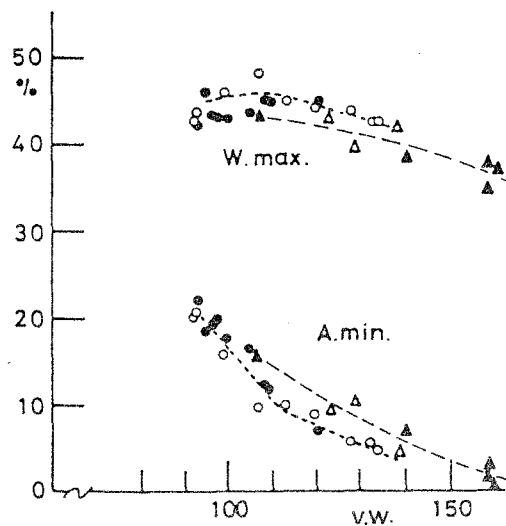


Fig.1.35
W.max. and A.min. characteristics of arti-ficially compacted field soils.

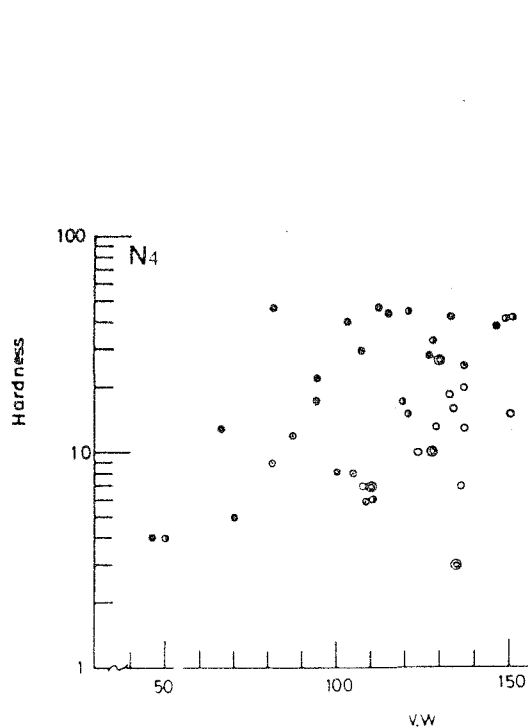


Fig. 1.36
Relation between volume weight and N_4 .
(Symbols are same as Fig. 1.30)

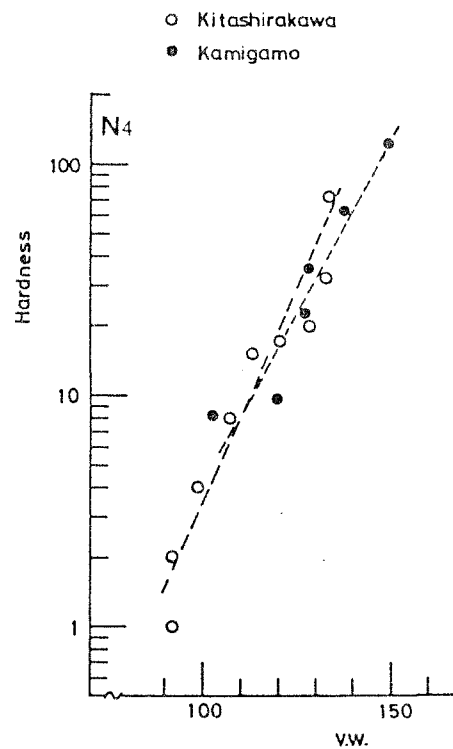


Fig. 1.37
Relation between volume weight and N_4 of
sandy soils.

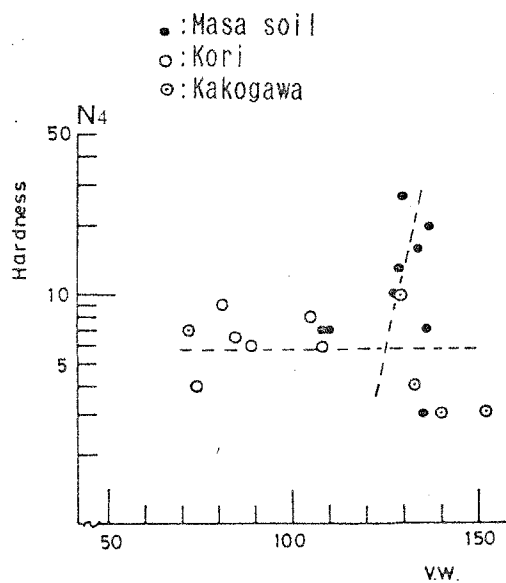


Fig. 1.38
Relation between volume weight and N_4 of
artificially compacted field soils.

やすくなることによるのであろう。

以上の結果より明らかとなった点を表層土物理性の発達過程としてまとめてみると以下のようである。

造成初期のち密化の過程——造成後 0.5～5年くらいの間にみられる。最小容気量の減少と N_4 値の増加が一時的に生ずるが、容積重の増加は顕著でない。この過程は造成が粗しょうに仕上げられた場合、耕耘が行なわれた場合、マサ土のような粗粒質土の場合など造成初期に不安定な粗大な孔隙が多い場合にみられるものと考えられる。また、植生の生育が良好な場合はつぎに述べる膨軟化の過程の進行が速いため、ち密化がほとんど生じないこともあろうが、不良な場合には回復が遅れることが予想できる。

膨軟化の過程——樹木や草本の生育にともなって土壤に有機物が供給され、土壤構造が発達していく過程である。容積重や N_4 値が減少する。最大含水量や最小容気量は増大する場合が多いが、やや変動もみられ、それは母材や植生その他の環境条件によって影響される土壤発達の方向によるところが大きいと思われる。この過程は踏圧が大きいと抑制され、特に N_4 値が増加する。

以上の２段階の過程のうち、初期のち密化の過程を少なくし、膨軟化の過程を促進することが樹木育成のための土壤管理の目標と位置づけられる。ここでは樹木生育の状況と直接関係づけなかったが、“Trampling-” ないし“Trampling+” の場所の樹木生育にとりたてて緑地樹木として問題になる点はなかったが、“Trampling++” ではすべて何らかの生育障害が一見して観察されており、そのような緑地は市街地では決して少なくないといえる。土壤のち密度でそのような緑地を把握するときの診断のために、この調査結果から、“Trampling++” のち密度として以下のような分級値が提案される。

N_4 値：10～20以下

最小容気量：10% 以上

容積重：造成時 120ないし130g/100cc以下、10年後で90～110g/cc 以下

とまとめてみた。これは踏圧条件からみた管理値で、主としてマサ土ないし類似の粗～中粒質の土質の造成地で、広場的な園地の利用にともなう踏圧による土壤の固結化をふせぎたい時に適用できると考えられる。

1-5 総括

本章に述べた緑地の樹木生育基盤の3種の問題点のうち、

(イ) 踏圧によって表層土が固結化し、健全であった樹木が衰退する——という現象については、林地における類例が報告されている。Lutz¹²⁾、La Page¹³⁾、Settergren & Cole¹⁴⁾、Legg & Sheneider¹⁵⁾などは、森林のレクリエーション利用による土壌固結および植生衰退を報告している。しかし、それらの固結の程度は仮比重によると御苑の広場ほどでもないようで、植生への影響も林床植生に重点がおかれている。皇居外苑の例(林試)¹⁶⁾も踏圧と土壌固結という問題が指摘されているが、樹木衰退と定量的な関係づけはなされていない。この意味で、単に1例ではあるが、京都御苑の事例で得られた樹木衰退の生じる土壌ち密度分級値が評価できる。

土壌の締め固まりはLull¹⁷⁾やRuark¹⁸⁾がまとめたように、またここでとりあげた例でもみられたように、孔隙量や通気透水性などさまざまな土壌の性質に影響を与える。さらに踏圧による樹体の機械的損傷も無視できないので、この分級値をもってただちに根系伸長など樹木生育を制限するち密度とみることはできない。しかし、つぎの

(ロ) 造成時およびその後の踏圧で固結化した生育基盤において、植栽木に生育不良がみられる——

(ハ) 造成時に生じた固結土壌や露出した下層のち密な生育基盤における植栽樹木に生育不良がみられる。——という事例において得られた、生育不良をもたらすち密度の分級値もほぼ同様であった。またち密度以外に最小容気量や浸透能、透水速度も樹木生育と関連が深いと判断された。

現実の緑地における、土壌ち密度が樹木生育に及ぼす影響に関するまとまった研究例はほとんどなかったが、筆者のこれらの研究以降、岡本¹⁹⁾、増田ら²⁰⁾のマサ土盛土植栽地の事例報告がみられるようになった。後者に指摘された樹木生育を抑制する土壌ち密度の分級値(固相率60%以上でケヤキ根系はみられず生育不良となるという)は筆者の場合と大きくは異ならない。前者は土壌硬度測定法が異なり、後(5章)で検討する。

なお、ここで対象とした緑地とかなり性格は異なるが、街路樹土壌の場合も生育不良の原因として、化学的特性よりも根圏土層がち密であることが指摘されている。(小沢ら²¹⁾、増田・森本・長谷川²²⁾、大阪府²³⁾)

つぎに、緑地における造成後の土壌の経年変化は、

(イ) 初期のち密化の過程——とその後の

(ロ) 膨軟化の過程——に分類され、条件がよければ50年程度で表層のち密度は成熟土のレベルとなるが、その土壌の発達過程に対して利用にともなう踏圧が抑制する事例が多いことが明らかになり、土壌管理における診断分級値を前述(P58)のように設定した。

以上の調査研究から平坦地においては、造成時の重機による、またその後の利用にともなう踏圧条件が現実の樹木生育基盤の主要な不良要因であると結論された。

文 献

- 1) 堤 利夫(1958a):森林土壌物理性相互の関係について(第1報), 日林誌, 40(2): 47-52.
- 2) ———(1958b):森林土壌物理性相互の関係について(第2報), 日林誌, 40(6): 237-241.
- 3) ———(1973):大泉緑地森林造成に関する調査—砂防植生調査(大阪府南部公園事務所) 49pp.
- 4) 佐藤 正, 村上与助, 村井 宏, 関川慶一郎(1956):新しい型の山地浸透計による測定成績(第1報), 林試研報83:
- 5) ———, ———, ———, ———(1957):新しい型の山地浸透計による測定成績(第2報) 99
- 6) 真下育久(1960):森林土壌の理学的性質とスギ, ヒノキの成長に関する研究, 林野土調報11:1-182.
- 7) 京都市交通局, 近畿ボーリング(1974):地質地下水調査井戸設置作業報告書.
- 8) 土壌物理性測定法委員会編(1975):土壌物理性測定法, 養賢堂.
- 9) 増田拓朗, 森本幸裕(1979):街路樹土壌の特性と樹木の生育(第3報), 造園学会春季大会発表要旨: 37.
- 10) 河田宏, 小島俊郎(1976):「環境測定法IV」:166pp, 共立出版.
- 11) 柴田信男・原 弘・和田克之(1974):緑化用樹木の栽培管理法に関する研究—V, 日林講85:151-154.
- 12) Lutz, H. (1945): Soil condition on picnic grounds in public forest parcs. Jour. Forestry, 43:121-127.
- 13) La Page, W. (1962): Recreation and the forest site. Jour. Forestry, 60:319-321
- 14) Settergren, C. D. and Cole, D. M. (1970): Recreational effects on the soil and vegetation in the Missouri Ozarks. Jour. Forestry, 68:231-233.
- 15) Legg, M. H. and Sheneider, G. (1977): Soil deterioration on campsites: Northern forest types. Soil Sci. Soc. Amer. Jour., 41:437-441.
- 16) 林試土壌部(1974):都市樹苑地の土壌環境—皇居外苑の土壌環境と樹木の衰弱, 森林立地15(2):25-33.
- 17) Lull, H. W. (1959): Soil compaction on forest and range lands. USDA Forest Service Miscellaneous Publ., 768:33pp.

- 18) Ruark, G. A. (1982): The influence of soil compaction and aeration on the root growth and vigour of trees — a literatural review. Part 1. Arboricultural Jour. 6 : 251-265.
- 19) 岡本諱明 (1982): 植栽基盤造成時の土壌の固結化が植栽木の活着と生育に及ぼす影響, 環境緑化研究 2 : 163-181.
- 20) 増田拓朗, 藤原健一, 吉田重幸 (1983): ケヤキの生育に及ぼす土壌物理性の影響, 香川大学農学部学術報告 34 (2) : 157-162.
- 21) 小沢知雄ら (1975): 街路樹の生態に関する基礎的研究, 造園雑誌 39 (1) : 23-34.
- 22) 増田拓朗, 森本幸裕, 長谷川秀三 (1981): 街路樹土壌の特性と樹木の生育 — 名古屋市の事例, 造園雑誌 44 (3) : 155-160.
- 23) 大阪府土木部公園課 (1982): 大阪府道緑化推進のための調査研究, 造園雑誌 46 (1) : 68-70.

第2章 のり面における樹木生育基盤

近年、山岳・丘陵地帯の開発にともなう土地造成により出現する裸地斜面－のり面－はますます増加し、その緑化に関する社会的な要請が増大している。のり面に植物を導入する試みそのものは古いものではない。いわゆる急速緑化工法がのり面の芝草による保護工として1950年代後半から研究されるようになった¹⁾が、景観上、あるいは環境保全の視点から樹木や郷土植物による緑化が各地で試みられるようになってきたのは1970年代である。しかしのり面は土木的安定条件から、植物生育基盤の改善は平坦地より制約される点が多く、特に切取りのり面では風化の進んでいない岩盤が出現することもまれでなく、樹木育成上大きな問題となる。

本章では、実際に樹木が植栽されたのり面や植生遷移の進行により森林が成立していく過程にあるのり面の樹木生育基盤に関する調査研究をとりあげ、土壌条件と樹木生育の相互関係、すなわち樹木生育にともなう土壌の発達傾向と樹木生育におよぼす主要な土壌条件の影響をとりあつかう。

2-1 樹木植栽のり面における土壌の経年変化

大規模なのり面における樹木植栽事例は少なく、樹木生育におよぼすのり面条件に関するまとまった研究はほとんどみあたらず、樹木生育基盤としての土壌条件は明らかでない。そこでまず、その概要を把握し、その経年変化のようすを若狭湾岸とその付近の施設のり面3地区を対象に調査を行なった。

のり面にいわゆる緑化草による草本群落を成立させる手法については、のり面の岩質、土質に応じてほぼ技術体系ができあがっているが¹⁻³⁾、木本植物や森林群落を成立させるためには生育基盤の植物導入時の条件の診断と対策の検討は不十分であり、特に植生遷移や土壌発達をふまえた導入後の予測・診断・管理が必要とされよう。ここでは、その手法確立のための基礎資料を得ようとした。4回の調査のうち最新の1980年の結果を中心に述べる。

(1) 調査地の概要

対象としたのは以下の3地区である。

(イ) 綾部：京都府綾部市北東部丘陵地帯の施設のり面で周囲はアカマツ、コナラを主とする里山で地質は塩基性複合岩類である。盛土のり面(30°)の芝草吹付け区(A11, A13, A15, A21) およびクロマツ(*Pinus thunbergii*) 植栽区(A12, A14, A16) イタチハギ(*Amorpha fruticosa*)植栽区(A22)、切取り(45°)の芝草吹付け区(A3)を対象とした。

(ロ) 大飯：福井県大飯町の海岸丘陵地帯の施設のり面で周囲はタブ、スダジイを主とする常緑広葉樹林とこれらをまじえたクロマツ林で、地質は上と同様である。盛土のり面(30°)のクロマツ植栽区(011, 012)と若干のクロマツを含む広葉樹植栽区(021, 022)、切取り(約15~30°)のクロマツ植栽区(031, 032, 041, 042)と広葉樹植栽区(042)を対象とした。

(ハ) 高浜：福井県高浜町の海岸付近の施設のり面で周囲はタブ、スダジイをともなうアカマツ林が多く、地質は流紋岩および流紋岩質凝灰岩である。盛土(約20°)若干のクロマツを含む広葉樹植栽区(T3)と切取り(約22~28°)の同上の植栽区(T1, T2)を対象とした。

いずれものり面造成後ウィーピングラブグラス、ケンタッキー31フェスク、ホワイトクローバーなどの播種が行なわれている。

またいずれも気候的には暖温帯でいわゆる照葉樹林帯に属し、年平均気温は15.2~15.7(京都府気象年報)とみられる。

(2) 調査法

各のり面はTab.2.1 に示した時期に調査した。調査地の土壌は未熟で深くまで土壌化が進んでいないので1980年の調査も表層(0~5cm)と下層(20~25cm)の2層について分析した。ただし、041, 042 は下層は岩盤のため土壌は採取できなかった。

土壌物理性は400cc および100cc のサンプラーを用いて非攪乱的に採取し常法によって分析した。ふつう林野土壌は400cc サンプラーが用いられ、透水性の測定は5cmの水頭差で透水試験がおこなわれ透水速度(cc/min)で表現される(真下式)が、100cc サンプラーのデータと比較するため飽和透水係数にも換算した。化学性、貫入試験は前章と同様である。

(3) 調査結果と考察

A. 第4回調査結果

第4回調査の土壌の分析結果はTab.2.2(1)-(3)に示したとうりである。

また、その3相組成を地区別にFig.2.1(1)-(3)に示した。表層土については綾部の調査区が概して他より水分が少なく、大飯では固相の大きいものが多い。また下層土は表層より明らかに固相が大きく、高浜は他より固相が少ない。すなわち3地区間で3相組成の分

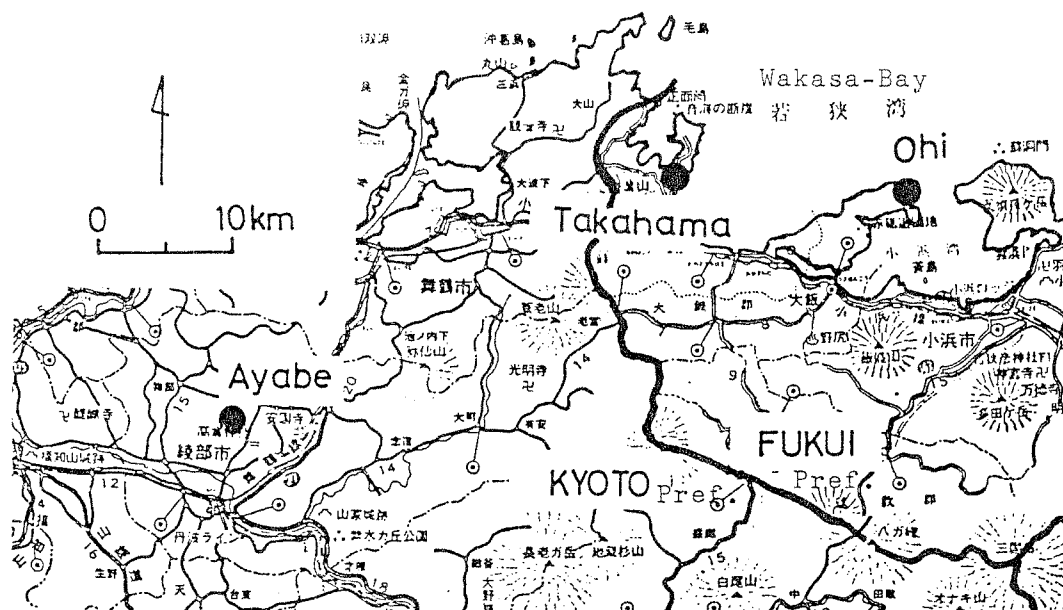


Fig.2.1 Locations of surveyed slopes.

Plot No.	1976 nov.	'77 jun.	'78 aug.	'80 aug.	Plot No.	'76 nov.	'77 jun.	'78 aug.	'80 aug.	Plot No.	'76 nov.	'77 jun.	'78 aug.	'80 aug.
A-1-1	**	*	***	***	O-1-1	**	*		***	T-1	**	**	**	***
A-1-2	**	*		***	O-1-2	*	*		***	T-2	***	***	***	***
A-1-3	**	*		***	O-2-1	**			***	T-3	**	**		***
A-1-4	*	*		***	O-2-2	**	*	**						
A-1-5	*	**		*	O-3-1	***			***					
A-1-6	**	**		*	O-3-2	**								
A-2-1	**	*	***	***	O-4-1		**		**					
A-2-2	**	*		*	O-4-2		**		**					
A-2-3	**			***										
A-3	**	*		***										

Tab.2.1 List of surveys. (A: in Ayabe, O: in Ohi, T: in Takahama)

(*** : analysis of surface and subsoil and penetrating test

** : analysis of surface soil and penetrating test,

* : penetrating test)

Tab.2.2(1) Soil properties

Plot No. Layer	Volume weight		Porosity (%)				Water Max. (%)		Air Min. (%)		Three phase structure			
	(1)	(2)	(1)	total	fine	coarse	(1)	(2)	(1)	(2)	Gravel	Fine soil	Water	Air (%)
A-1-1 top	105	69.1	58.5	26.2	32.3	73.1	48.8	60.9	9.8	12.2	20.0	21.5	32.5	26.0
" sub	154	90.6	41.7	15.0	26.7	65.1	34.0	53.1	7.7	12.0	36.0	22.3	24.0	17.7
A-1-2 top	100	50.0	60.5	27.0	33.5	80.6	50.8	67.7	9.7	13.0	25.0	14.5	29.5	31.0
" sub	164	122.1	35.8	18.0	17.8	52.7	31.0	45.6	4.8	7.1	32.0	32.2	22.0	13.8
A-1-3 top	119	70.3	53.6	20.0	33.6	72.4	44.0	59.5	9.6	13.0	26.0	20.2	25.0	28.8
" sub	157	88.3	39.5	22.0	17.5	65.8	32.0	53.3	7.5	12.4	40.0	20.5	22.0	17.5
A-1-4 top	98	50.5	61.2	20.5	40.7	80.2	39.5	51.8	21.7	28.4	23.8	15.1	20.8	40.3
" sub	160	122.9	37.7	17.5	20.2	52.4	30.5	42.4	7.2	10.0	28.0	34.3	20.5	17.2
A-2-1 top	122	80.3	52.6	19.0	33.6	67.9	41.8	53.9	10.9	14.0	22.5	24.9	21.8	30.8
" sub	136	88.8	45.4	18.5	26.9	63.8	37.0	51.9	8.4	11.8	28.8	25.8	25.5	19.9
A-2-3 top	66	31.3	71.3	31.6	39.7	87.0	57.1	69.6	14.2	17.4	18.0	10.7	26.6	44.7
" sub	151	127.5	40.8	25.0	15.8	51.0	40.0	50.0	0.8	1.0	20.0	39.2	28.0	12.8
A-3-1 top	112	88.5	54.3	20.0	34.3	61.9	41.8	49.1	12.5	14.7	15.0	30.7	16.8	37.5
" sub	138	116.3	45.8	21.1	24.7	54.4	36.8	43.8	9.0	10.6	15.8	38.4	22.1	23.7
O-1-1 top	118	77.3	52.4	30.0	22.4	69.9	45.5	60.7	6.9	9.2	25.0	22.6	39.2	13.2
" sub	158	106.3	37.8	22.0	15.8	59.1	31.0	48.4	6.8	10.7	36.0	26.2	24.0	13.8
O-1-2 top	124	95.6	50.5	24.5	26.0	63.1	45.0	56.3	5.5	6.8	20.0	29.5	28.8	21.7
" sub	145	80.0	41.5	29.0	12.5	69.2	43.0	71.7	-1.5	-2.4	40.0	18.5	28.0	13.5
O-2-1 top	106	73.8	58.5	28.5	30.0	71.3	51.5	62.8	7.0	8.5	18.0	23.5	36.5	22.0
" sub	146	101.4	42.1	31.0	11.1	61.0	39.0	56.5	3.1	4.5	31.0	26.9	32.0	10.1
O-3-1 top	116	71.7	53.2	26.5	26.7	70.9	38.5	51.3	14.7	19.5	25.0	21.8	26.8	26.4
" sub	146	87.5	42.1	30.0	12.1	65.8	40.0	62.5	2.1	3.3	36.0	21.9	26.5	15.6
O-4-1 top	146	58.9	43.5	13.0	30.5	77.8	34.0	60.7	9.5	17.0	44.0	12.7	17.0	26.3
O-4-2 top	125	56.1	52.3	19.0	33.3	79.2	44.0	66.7	8.3	12.6	34.0	13.5	29.0	23.5
T-1 top	114	68.0	55.2	24.0	31.2	73.6	46.5	62.0	8.7	11.6	25.0	19.8	26.0	29.2
" sub	153	120.3	40.0	19.8	20.3	53.4	36.0	48.0	4.0	5.4	25.0	35.0	19.0	21.0
T-2 top	88	59.7	64.4	38.0	26.4	76.9	53.8	64.2	10.6	12.7	16.3	19.4	45.0	19.4
" sub	98	74.4	61.0	35.0	26.0	70.9	51.0	59.3	10.0	11.6	14.0	25.0	36.0	25.0
T-3 top	90	66.7	63.8	37.3	26.5	74.0	53.5	62.0	10.3	11.9	13.8	22.5	39.7	24.0
" sub	118	92.8	52.9	35.0	17.9	63.8	50.0	60.2	2.9	3.5	17.0	30.1	33.0	19.9
Tabu top	59	30.8	73.1	34.0	39.1	87.2	55.8	66.5	17.3	20.7	16.1	11.1	40.3	32.5
stand sub	110	82.6	56.1	36.0	20.1	67.2	46.0	55.1	10.1	12.1	16.5	27.4	36.0	20.1

(1): Based on gravel and fine soil, (2): Based on fine soil.

Tab.2.2(2) Soil properties

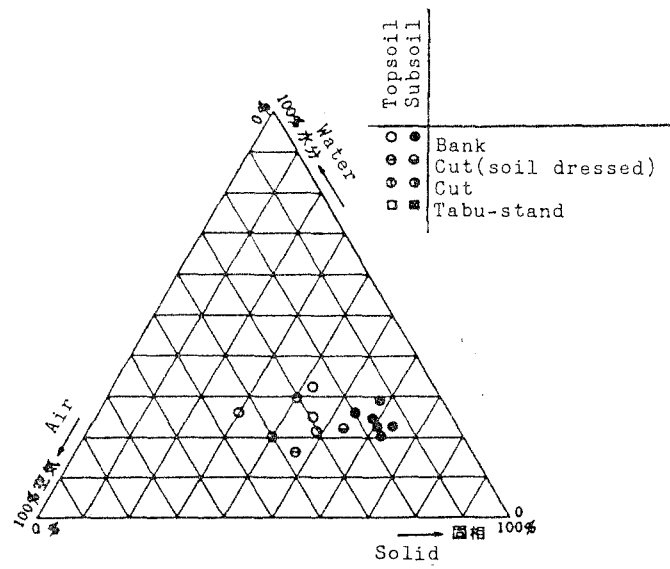
Plot No. Layer	Perco- lation (cc)	Permea- bility (cm/sec)	Soil hardness (1) (mm) (kg/cm ²)	Yamanaka- (2) methode) (mm) (kg/cm ²)
A-1-1, top	360	4.8 × 10 ⁻²	15.5	3.98
sub		2.0 × 10 ⁻²	21.5	12.8
A-1-2, top	154	2.0 × 10 ⁻²	10.0	1.40
sub		1.3 × 10 ⁻³	20.0	9.43
A-1-3, top		1.5 × 10 ⁻³	13.0	2.49
sub		2.7 × 10 ⁻³	17.5	5.80
A-1-4, top	213	2.8 × 10 ⁻²	8.0	0.92
sub		1.5 × 10 ⁻³	20.0	9.43
A-2-1, top	155	2.1 × 10 ⁻²	15.0	3.62
sub	4	5.3 × 10 ⁻³	21.0	11.6
A-2-3, top	385	5.1 × 10 ⁻²	7.0	7.35
sub		2.2 × 10 ⁻³	18.3	6.76
A-3-1, top	73	9.7 × 10 ⁻³	10.0	1.40
sub		2.0 × 10 ⁻³	11.7	1.95
O-1-1, top	13	1.7 × 10 ⁻³	21.5	12.8
sub		8.0 × 10 ⁻³	21.7	13.4
O-1-2, top	136	1.8 × 10 ⁻²	21.5	12.8
sub		1.8 × 10 ⁻³	20.0	9.43
O-2-1, top	34	4.5 × 10 ⁻³	18.0	6.38
sub		8.7 × 10 ⁻³	20.5	10.4
O-3-1, top	155	2.1 × 10 ⁻²	16.0	4.37
sub		6.2 × 10 ⁻³	17.5	5.80
O-4-1, top		2.0 × 10 ⁻²	20.0	9.43
O-4-2, top		1.7 × 10 ⁻²	14.5	3.30
T-1, top	127	1.7 × 10 ⁻²	15.7	4.13
sub	32	4.3 × 10 ⁻³	18.0	6.38
T-2, top	118	1.6 × 10 ⁻²	16.5	4.80
sub	107	1.4 × 10 ⁻²	15.0	3.62
T-3, top	38	5.1 × 10 ⁻³	16.7	4.98
sub		4.6 × 10 ⁻³	21.0	11.6
Tabu- stand, top	170	2.3 × 10 ⁻²	15.0	3.62
sub		8.0 × 10 ⁻³	14.0	3.01

(1): at pF2.7, (2): on the spot.

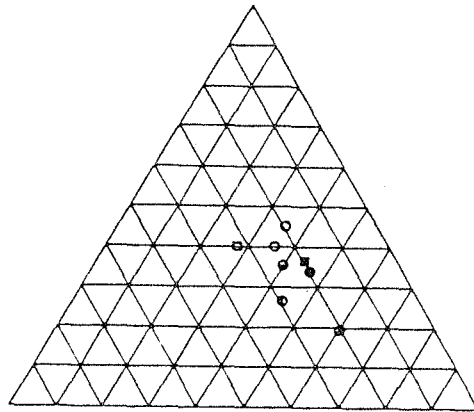
Tab.2.2(3) Soil properties

Plot No. Layer	PH (H ₂ O)	C (%)	N (%)
A-1-1, top	6.5	0.73	0.128
sub	6.8	0.10	0.097
A-1-2, top	6.9	0.57	0.117
sub	7.3	0.22	0.083
A-1-3, top	6.6	0.83	0.133
sub	7.0	0.25	0.104
A-1-4, top	7.0	0.80	0.123
sub	7.5	0.31	0.100
A-2-1, top	6.4	0.95	0.147
sub	7.3	0.10	0.107
A-2-3, top	6.9	7.74	0.590
sub	7.1	0.15	0.101
A-3-1, top	6.9	0.84	0.143
sub	7.2	0.04	0.030
O-1-1, top	7.3	0.78	0.123
sub	7.4	0.28	0.108
O-1-2, top	6.9	1.00	0.125
sub	7.1	0.35	0.093
O-2-1, top	7.2	1.33	0.134
sub	7.6	0.29	0.085
O-3-1, top	6.7	1.37	0.076
sub	7.2	0.21	0.030
O-4-1, top	7.1	0.55	0.047
sub	7.2	0.29	0.029
O-4-2, top	6.9	0.85	0.057
sub	7.2	0.09	0.024
T-1, top	6.4	1.31	0.101
sub	6.8	0.77	0.070
T-2, top	5.0	2.30	0.138
sub	5.1	0.39	0.039
T-3, top	5.0	3.23	0.211
sub	4.6	1.81	0.100
Tabu- stand, top	5.9	11.51	0.655
sub	5.1	1.33	0.080

(1) Ayabe



(2) Ohi



(3) Takahama

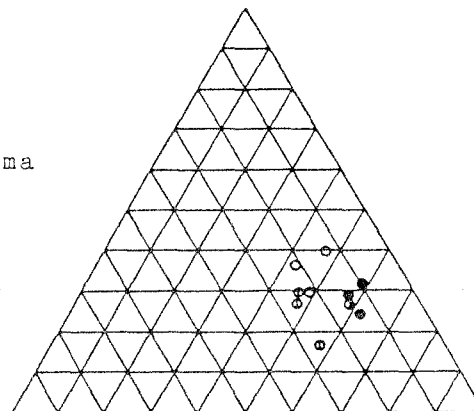


Fig.2.2 Three phase structure of soils

布範囲の差異がうかがえる。

B. 土壌物理性の変化

のり面の土壌は植生の生育にともなって、構造が発達していくものと思われる。以下に4回のデータを用いて経年変化の傾向をみた。

まず、容積重についてみると、表層の土壌はFig.2.3～4のようなグラフが得られた。ふつう、容積重は石礫を除いた細土基準で示されるが、石礫の含有率が当地のように大きいと、土壌構造がほとんど発達していなくとも細土基準の値がかなり小さくなってしまうので、原土基準の場合（土質工学でいう乾燥密度と同義）も検討した。その結果双方とも全体としてみればかなり明確な減少傾向がうかがえる。最も著しかったのは綾部のイタチハギ植栽区で施工後3年目で120g/100ccあったのが7年目では40以下となった。ただし、減少が目立たないものもあり、成熟した土壌の値に近づくにしたがって見られるであろう頭うちの現象かとも思えるが、最も時間を経過したものでも9年であり、後に述べるように、さらに密度は減少していくであろう。なお下層土の変化はこれ程明確にはみられない。

つぎに孔隙量に関しては年数とともに増大していく傾向にある。吸収板による孔隙解析結果をFig.2.5(1)～(3)に示す。これによると、土壌の表層と下層で、また地区によって孔隙特性がかなり異なることが分る。なおこの図には表層のデータしかないところははぶいてある。図上における大まかな分布範囲をまとめてFig.2.6に示した。

これらの図によると、いずれの地区も下層より表層の孔隙量が多いが下層だけについてみると、高浜の場合は粗孔隙量に大差はなく、細孔隙量はかなりの変動がある。また綾部、大飯の下層土は全孔隙量約40%前後にならび、大飯の方が細孔隙量が多い。また、下層と表層の全孔隙量の差は粗孔隙量の差によるところが大きく、特に大飯と高浜では細孔隙量はほとんどかわらない。

造成直後では表層と下層の差はほとんどなかったものと思われるので、この図上における下層土の孔隙組成から発達して表層のような組成になったと考えるのは著しく不当ではないだろう。かりにこれが正しいとすれば、土壌の発達にともなう容積重の減少と孔隙量の増加は粗孔隙量の増加によるものとなる。

つぎに最大含水量と最小容気量の経年変化を見る。粗孔隙と細孔隙の境界はほぼpF2.7であるが、最大含水量はほぼpF 1.8の水分量であり、細孔隙より大きな孔隙を含み、一方、最小容気量はそれより粗大な孔隙量である。Fig.2.7と2.8にこれらの経年変化を示した。いずれも表層土について示してある。最大含水量は調査区によってかなり変動幅はあるものの全体としてみれば増大していく傾向がある。これに対して最小容気量はかならずしも一定の傾向が明らかでない。しいていえば、7年以上経過したものでは8%以下のものはなく、年数とともに8～20%くらいの範囲には含まれるようである。

さきの孔隙組成の変化と総合して考えれば、pF 1.8～2.7の孔隙が土壌の発達にともなうて増大していることになる。

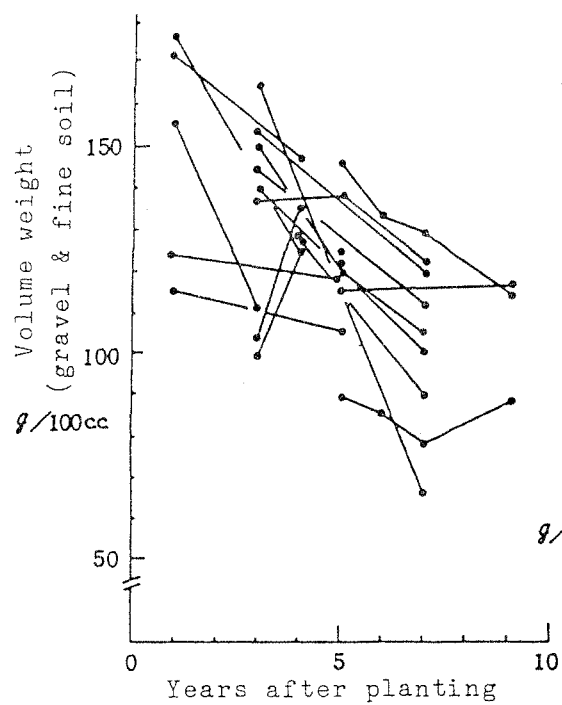


Fig.2.3 Change of volume weight
(fine soil and gravel)

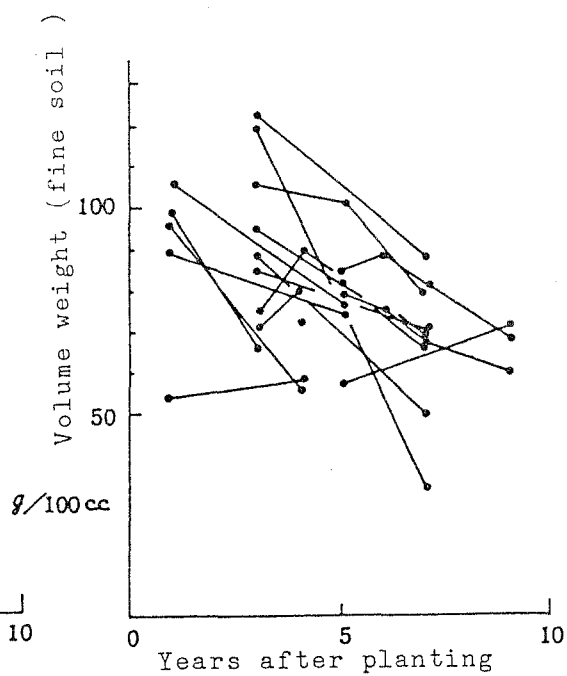


Fig.2.4 Change of volume weight
(based on fine soil)

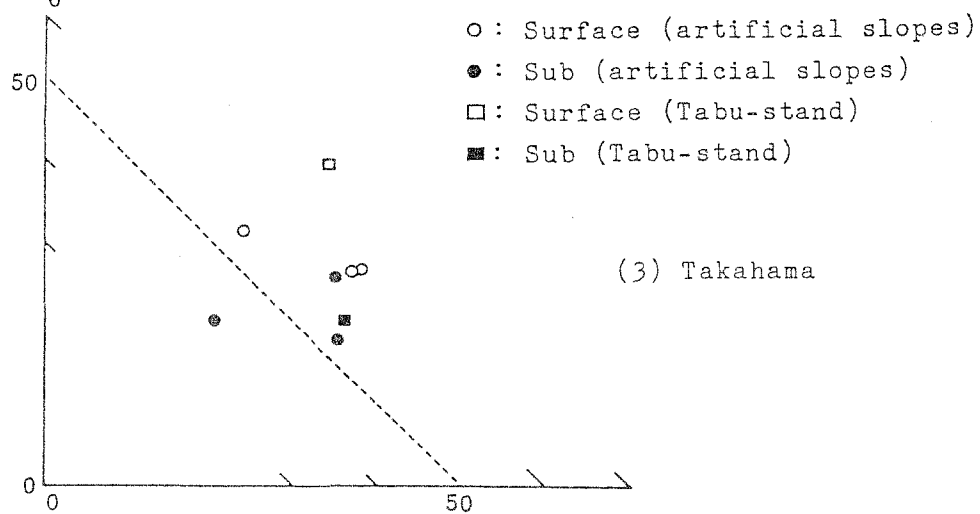
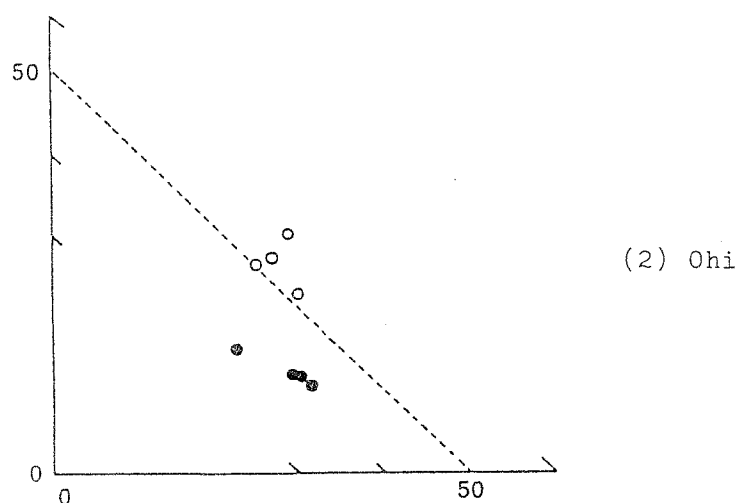
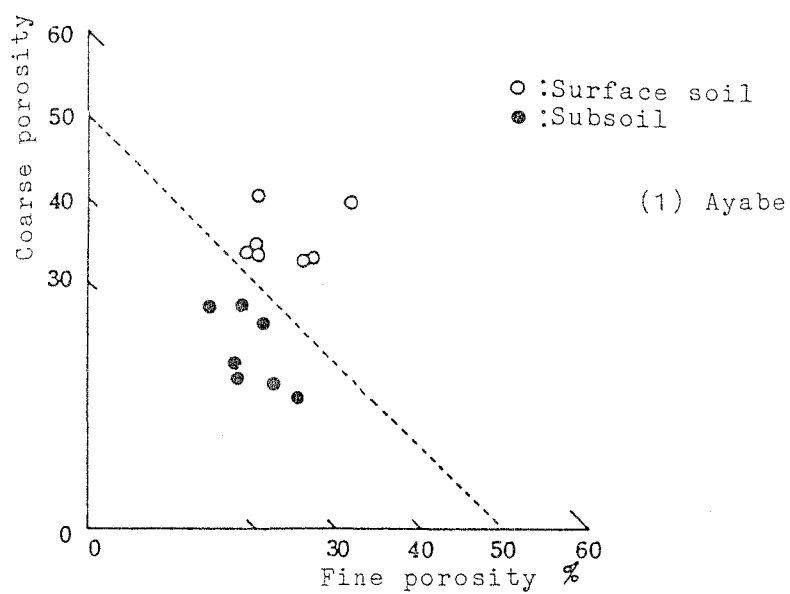


Fig.2.5 Results of pore analysis

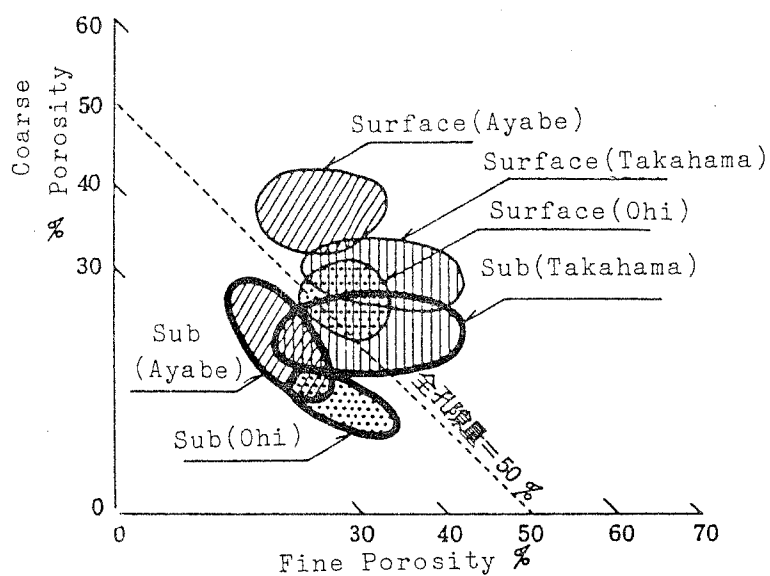


Fig.2.6 Difference of pore structure

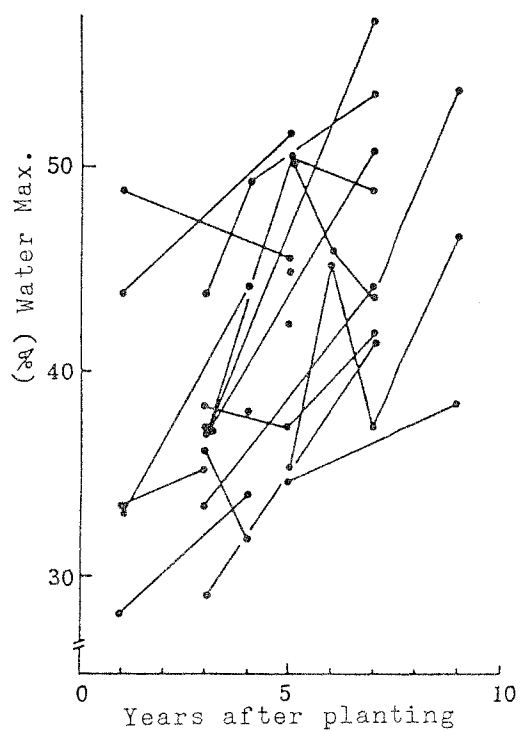


Fig.2.7 Change of Water Max.

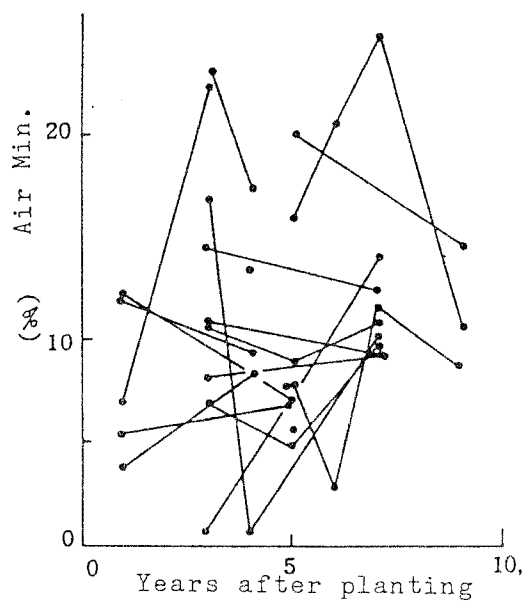


Fig.2.8 Change of Air Min.

一方、ち密度の減少にともなう孔隙の変化をみるために最大容水量と最小容気量を容積重との関係でみたのがFig.2.9,10である。すなわち、バラツキはあるものの容積重の減少に対して最大容水量の増大傾向は明らかで、特にその上限付近に注目すれば、容積重 110～120g/100ccまでの減少に対して最大容水量の増大が著しく、最小容気量は容積重のそれ以下の減少にともなって、増加しているようである。

容積重の減少を土壌の発達過程と考え、最大容水量を保水性の指標と考えれば、その初期で保水性の増大が生じると考えられる。この経年変化と速度は当然、のり面の初期条件や環境条件によって左右されるであろう。さきの図で最小容気量が他よりめだって大きいものはクロマツの植栽された調査区であり、導入植生によって土壌発達のようなすが異なることを示唆する。

つぎに土壌の3相組成については、固相はともかく、水分と空気は天候によって左右されやすく、特にのり面のような未熟土ではその傾向が強いと思われる。1980年の調査は8月上旬に行なったが、例年になく降雨の多い夏であったので、平年の夏期よりは湿潤な値が得られていると思われる。そこで、やはり湿潤であった1976年秋のデータと比較し、4年間の変化をみようとしたのがFig.2.11 である。3相組成は分布範囲で示してある。なお、1976年に欠測のものは1980年のデータも省いた。また比較のために、褐色森林土のA層の平均値⁴⁾も示しておいた。

これによると、3地区ともこの4年間で固相が少なくなっている。特に緩部でその傾向が強いが、大飯ではそれほど明確でない。また3地区でそれぞれ分布範囲が異なるようである。

これらの土壌は4年間で発達しているものの、成熟した褐色森林土と比較すると、まだ固相率の高いものが多い。今後、図上を左ないし左上に移動していくものと思われる。

つぎに土壌の透水性の経年変化についてはあまり明確でない。データはかなりバラツキがあるが表層土の飽和透水係数は 10^{-3} ～ 10^{-2} のオーダーにおさまっている。(Fig.2.12)ごく大まかにいえば、孔隙の増加に対して透水性は増大すると考えられるから、飽和透水係数がずっと低下していくとは思えない。

土壌の貫入試験結果をFig.2.13(1)～(3)に示す。バラツキが大きいですが総じて硬度が低下している。(2-2参照)特に0-4-1,2では1977年には全く試験不能な軟岩であったのが、1980年には12～22cm程度まで風化が進んでいる。また高浜ではのり面周辺のタブ林とほぼ同程度にまで硬度が低下している。

C. 土壌化学性の変化

土壌の発達はリターによる土壌への有機物の供給がその主要な原動力となっていると思われる。有機物の指標として、細土中の炭素含有率の経年変化のようすをFig.2.14に示した。ほぼ、炭素含有率が増加の傾向にあるのは明らかといえよう。なお、非常に増加の激しかったのはイタチハギが導入されたのり面である。

pHに関してはFig.2.15に示した。大飯・緩部では年数とともにpHは6～7に集中して

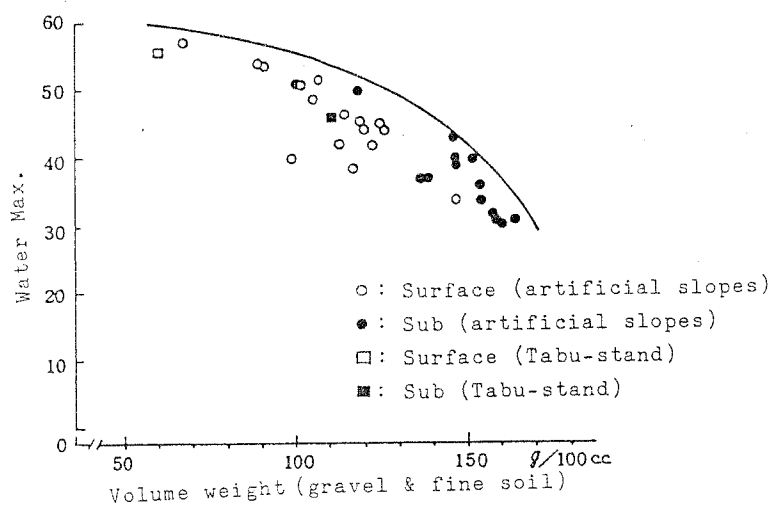


Fig. 2.9 Relation of Water max. and Volume weight

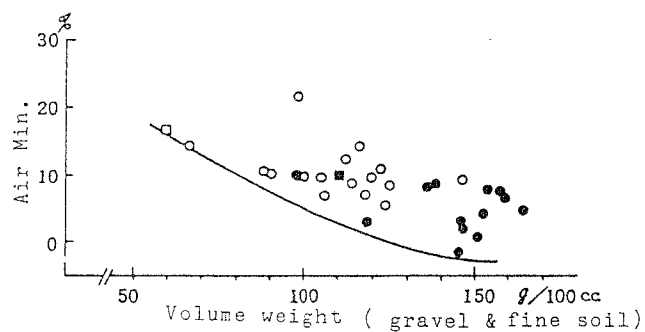


Fig. 2.10 Relation of Air min. and volume weight

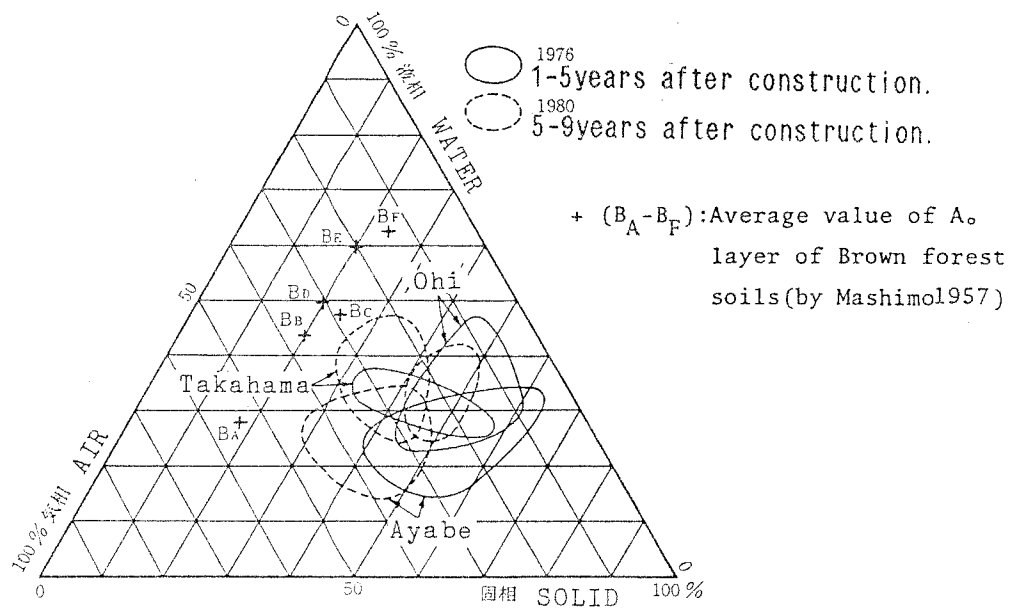


Fig. 2.11 Recovering of three phase structure (surface soil)

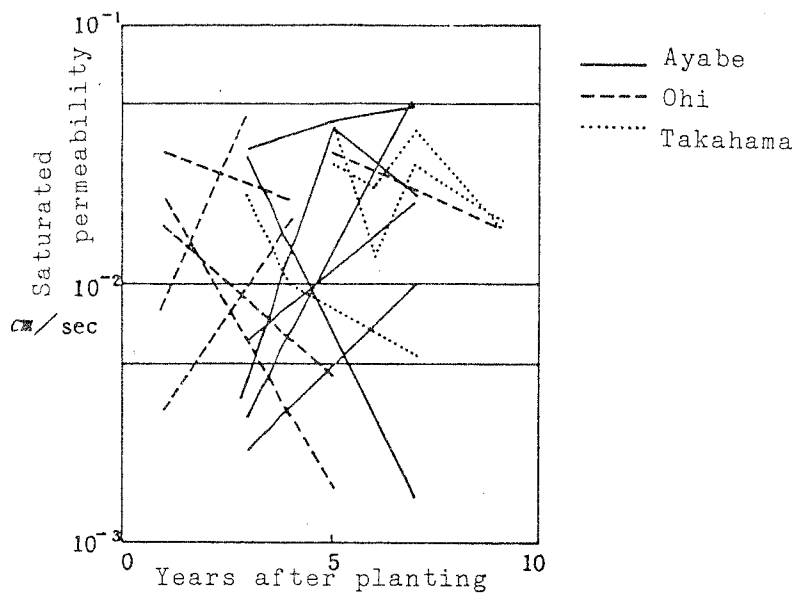


Fig.2.12 Change of saturated permeability (surface soil)

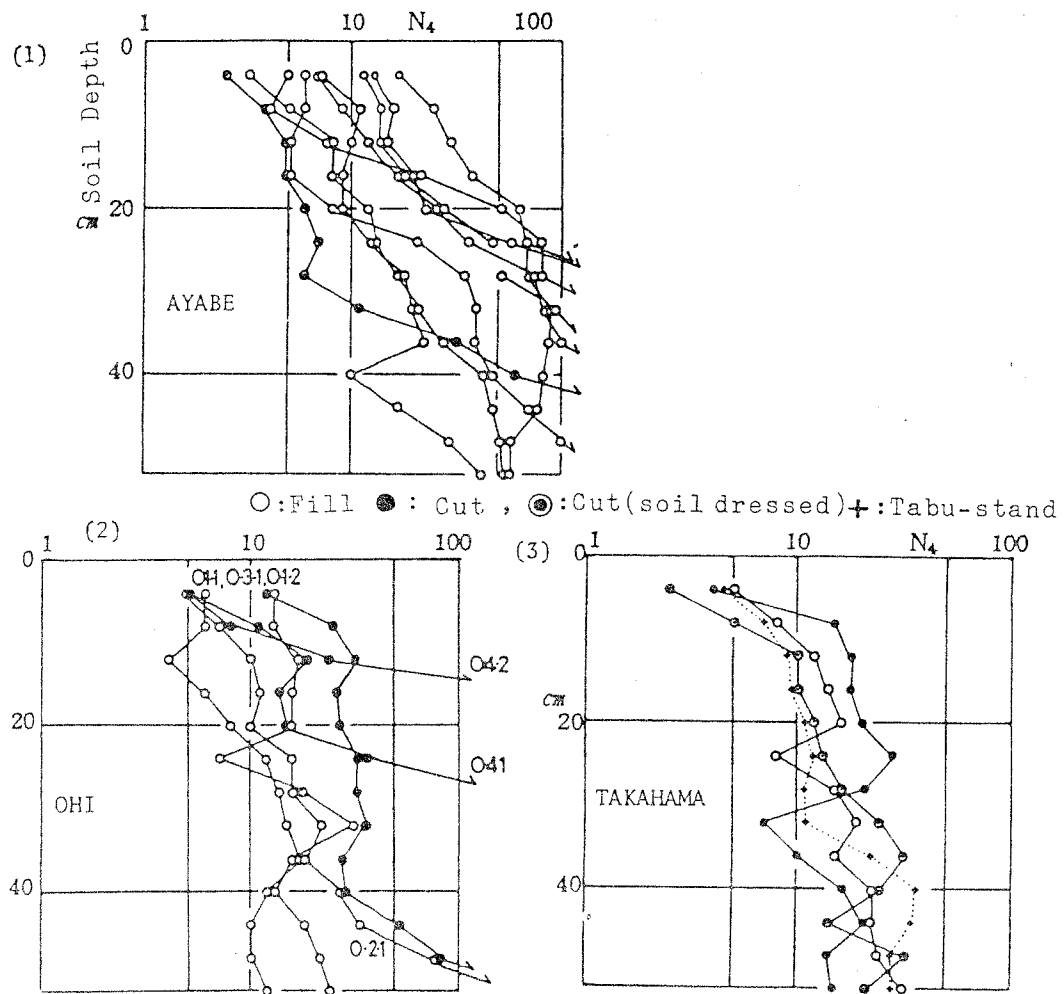


Fig.2.13 Vertical distribution of soil hardness by N_4 value

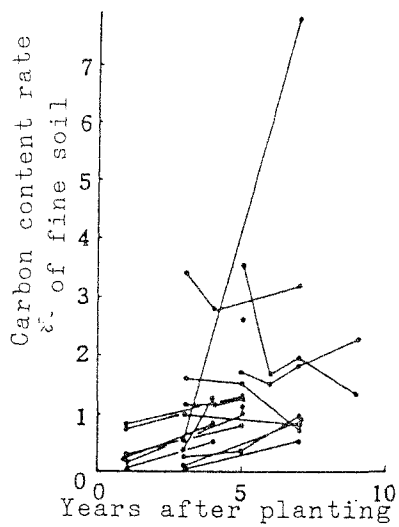


Fig. 2.14 Change of carbon content rate in the fine soil

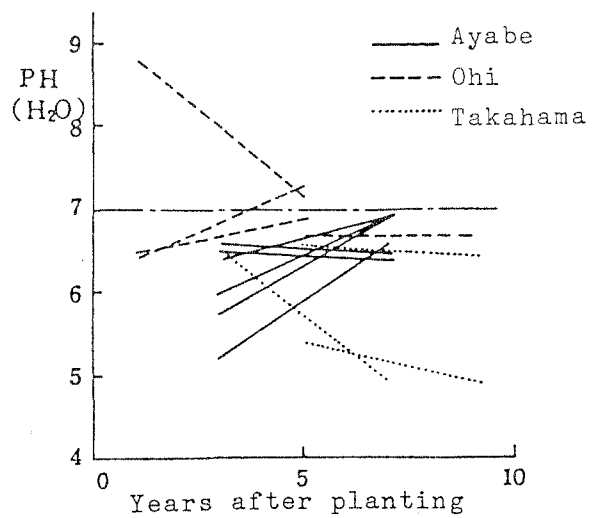


Fig. 2.15 Change of PH(H₂O)

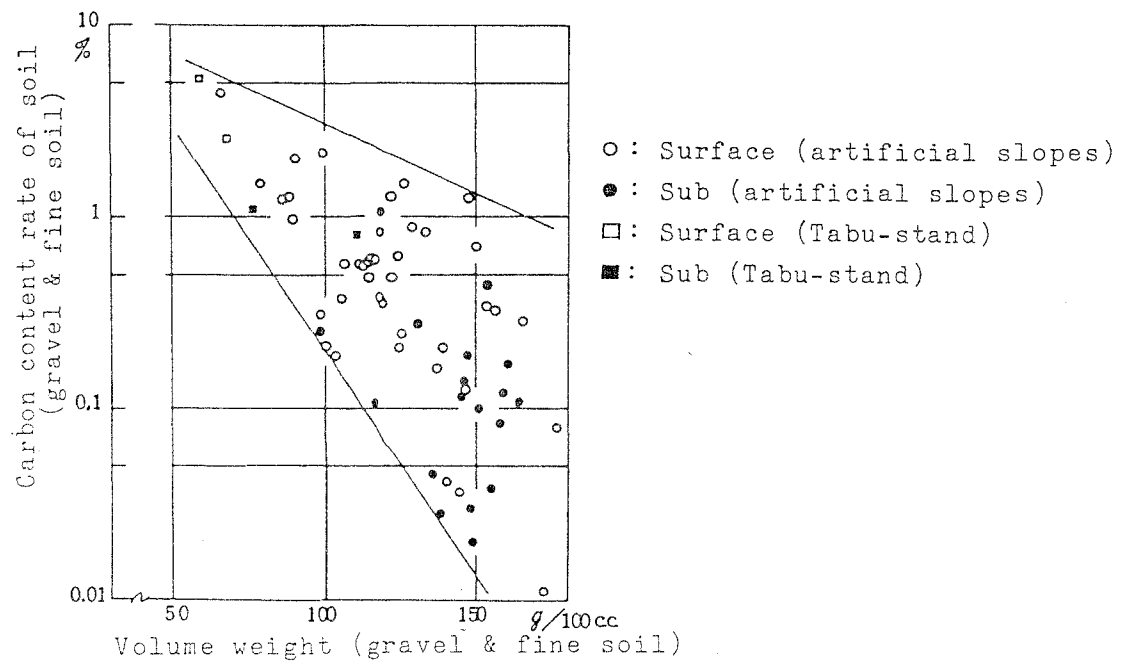


Fig. 2.16 Relation of volume weight and carbon content of soils

くるようであるが、高浜ではもっと酸性となるようである。この原因のひとつは綾部・大飯の母岩が塩基性なのに対し、高浜では流紋岩質であるためと思われる。

なお、土壌の化学性と物理性の変化は相互に関連していると考えられ、土壌中の有機物集積は物理性の発達を促すだろうし、物理性の発達は根系の発達、植物の生育を促し、土壌に還元される有機物量が増加するだろう。そこで土壌中の炭素含有率と容積重（ともに原土基準）の関係をみたのがFig.2.16 である。炭素含有率を対数でとったところ、バラツキは多いものの上限付近と下限付近はそれぞれ直線で示せるようである。すなわち、容積重の減少はある程度の有機物の集積なくしておこらないし、有機物量の増加もある程度の容積重の減少なくしておこらないといえる。またこの図上のバラツキは土壌の母材料のちがいや造成時の締め固まりのちがいによって生じるのであろう。

D. のり面の諸条件と土壌の発達

緑化工が行なわれて植生が成立し、生育する過程において土壌の諸性質が変化していく大まかな傾向は以上に明らかとなったが、のり面の諸条件によって土壌の発達していく方向や速度が異なってくるようである。

Tab.2.4 は1980年における施工後 5～9年ののり面を導入植生によって分類して、A○層と無機質土壌中の炭素とチッ素の集積量を比較したものである。草本のみののり面よりクロマツや広葉樹も導入されたのり面のほうが明らかに有機物の集積量が多いようで、A○層は草本区と他の間に 5ないし1%レベルの有意差がある。土壌中の炭素もクロマツ区と1%レベルの有意差があり、広葉樹区は大変蓄積量の多いのり面があるために標準偏差が大きくなり5%以上の有意差はないが、このすべての草本区よりすべての広葉樹区の方が蓄積量が大である。ただし、チッ素はクロマツ区や広葉樹区と草本区に差はない。また、イタチハギ区は草本区よりこれらの蓄積量が大変多く、他の植生と異なってチッ素固定に特徴がみられる。

Tab.2.5 は綾部地区において導入植生による容積重のちがいをみたものである。施工後3年では有意な差がみられなかったにもかかわらず、7年後にはそれぞれの植生によって明らかな差となり、イタチハギ区で最も膨軟になり、草本区では土壌の変化は少ない。

このように草本のみの緑化より、樹木を導入したほうが土壌の回復を早めることができるようである。またFig.2.17に示すように樹林のタイプで異なるようだが土壌中の有機物量は樹林の生長（基底断面積合計）にしたがって増加するようである。このほかいくつか目につく傾向を以下に述べる。

クロマツ導入区ではA○層が発達し、他の植生区の土壌とやや異なったタイプの土壌となっていくようである（2-2参照）。また同じ植生が導入されても、風衝地や風化土壌層の少ないところ(041,2)では植生の生育も不良で土壌の発達も遅れるのは当然である。植生の生育にともなう土壌の発達は9年程度ではほとんど表層にとどまり、20cm以深ではほとんど変化していない。

Tab.2.4 Comparison of organic accumulations in terms of vegetation types on the slopes. (5~9years after construction) (g/m²)

	Vegetation	N	A O		Mineral soil layer			
			layer		Carbon		Nitrogen	
			mean	sd	mean	sd	mean	sd
Artificial Slopes	Grass	4	33	12	403	67	149	25
	<u>Amorpha fruticosa</u>	1	70		1774		318	
	<u>Pinus thunbergii</u>	5	331	200	617	100	147	57
	Broad leaved trees	4	268	37	1833	1308	150	53
Natural	<u>Machilus thunbergii</u>	1	500		3361		198	

N : Number of serveyed slopes.

Tab.2.5 Comparison of Volume weight of surfase soils in terms of vegetation types. (Ayabe,g/100cc)

Vegetation	Number of Slopes	3 years after construction(1)		7 years after construction(2)	
		mean	sd	mean	sd
Grass	4	102.6	16.1	77.1	9.1
<u>Pinus thunbergii</u>	2	79.7	12.4	50.3	0.4
<u>Amorpha fruticosa</u>	1	119.3		31.3	

(1):No significant difference. (2):Different from each other. (5 or 1% Level)

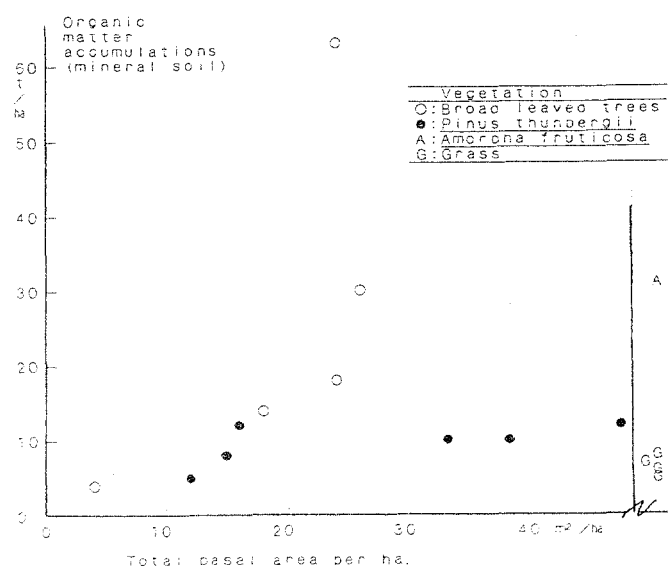


Fig.2.17 Organic matter accumulations in mineral soil layer as relateted to total basal area per ha.

2-2 植物生育状況と生育基盤の土壌条件の関連

前節では樹木植栽のり面土壌の経年変化をとりあげたが、ここでは樹木植栽のり面にかかわらず、芝草種子吹付け後に周辺林地からの侵入により成立したアカマツ林や、全く植生工が行なわれずに放置され、森林植生が侵入しつつある林道のり面を対象とし、その土壌条件と植物生育状況の関連を検討する。

前節で明らかになったように、のり面の土壌は未熟であり、成熟した褐色森林土とはその物理・化学性において比べるべくもないことが多い。しかしながら、そののり面の植生構造はほぼ計画時の期待どおりの発達がみられていたこともまれでなく、樹木導入時の土壌条件評価基準として成熟土壌のみをとりあげるのは十分条件ではあっても、必要十分条件ではない。造成直後ののり面の評価のためには実際ののり面の植物生育状況と土壌条件の関連についての知見を集積する必要がある。このような視点で、京都・滋賀における多様なのり面の実態を調査した。

(1) 調査対象のり面の概要

対象としたのり面の概要を以下に列記する。

(イ) 芦生：京都大学芦生演習林林道のり面、切取り（43～70°）、および盛土（捨土35～50°）、中・古生層、緑化工なし、*Rubus spp.*などが侵入（京都府、美山町）

(ロ) 東山：東山ドライブウェイ道路のり面、切取り（50°）、中・古生層、芝草播種（50年経過区は不明）、アカマツ(*Pinus densiflora*)林が天然下種により成立。（京都市）

(ハ) 島本：島本団地のり面、切取り（約30°）、大阪層群、芝草播種、シラカシ・アラカシ・マテバシイ（*Quercus myrsinaefolia*・*Q. glauca*・*Passania edulis*）苗木植栽。

（大阪府、島本町）

(ニ) 甲賀・柏木：施設のり面、前者は切取り、後者は盛土（約30°）、古琵琶湖層群、芝草播種、樹木植栽試験のり面。（滋賀県、甲賀町）

なお、以上の気候は芦生のみ冷温帯、他は暖温帯に属する。

(2) 調査方法

土壌の採取および物理性、pH、全炭素、チッ素については前節と同様である。CECはPeech法により、NH₄イオンの定量はフェノーロクロラミンT吸光光度法を用い、置換性塩基の定量は原子吸光光度法によった。小型貫入試験器による原位置での調査も行ない、有効な土壌深さをもとめる手がかりとした。なお、特に印した以外の土壌採取は1981年に行なった。

A〇層は0.5×0.5mの方形区を3箇所置いて採取し、傾斜を考慮して投影面積あたりの

乾重を求めた。土壌中の有機物量は土壌が未熟であることを考慮して、25cmまでを原則としたが、状況に応じて変更した場合もある。

(3) 調査のり面の植物生育状況と土壌諸性質

A. 芦生

芦生林道のり面のうち、切取りのり面の植生については別に追跡調査を行ない、その結果は既に報告している。(森本)^{5,6)}ここで対象とした軟岩・土砂のり面ではのり上部の急勾配地山部分では特に冬期の侵食現象が激しく、その土砂はのり下部に40~45°の勾配で堆積する。植物は堆積部を中心に侵入するが、土砂崩落が続くかぎり侵入消失をくりかえし、植生遷移はRubus spp.の段階で停滞している。

一方、盛土(捨土)のり面は予想外に安定性が高く、特に雨水が集中したり、林道の管理上、毎年捨土されるところを除けば、植生の回復は急速で、約5年で先駆性の木本類などによる被覆は完成する。(福寛・玉井)⁷⁾

これらのり面の土壌条件は以下のようなものである。貫入試験結果はFig.2.18,19のようで、ただし切取りのり面は下部の崩積土の部分である。崩積土は前章で述べた一般の都市緑地と比べてたいへんルーズであり、地山に達するとかたすぎてN₄値は100をこえる。捨土のり面もやわらかく、樹木生育基盤としてかたさの問題はない。

土壌分析結果はTab.2.6,7に示した。石礫含有率が著しく大きく、風化作用が進んでいないことを示している。なお、これらの非攪乱試料は崩積土部と捨土部、地山(切取り)面上の薄い風化土壌層であるが、全般的に孔隙に富み、透水性も大きい。

pHは低く、塩基飽和度は低く、炭素、チッ素は未熟土としては比較的多いようである。

B. 東山

道路のり面の芝草種子吹付け工から23年間の植生の変化は吉田⁸⁾によって詳しく報告されている。

Tab.2.8,9のH-1,2はレッドフェスク播種区で、草本の繁茂によってアカマツの侵入がH-3,4より遅れているが、一応成林している。H-5は新しいため、まだ裸地がのこるが、アカマツが侵入中である。H-6は約50年前に造成されたといわれており、現在はアカマツ林となっている。

土壌の物理性は芦生と似て石礫が多い。容積重が小さく、特に最小容気量が大きい。

なお、1977年8月にも土壌調査を行っており(吉田・森本⁸⁾)、その時の土壌断面構造(Fig.2.20)は風化土壌層がたいへん薄いことを示している。しかしA₀層は5cmあり、あとに述べるように有機物蓄積量は無機質土壌中よりA₀層に多く、アカマツの吸収根はほとんど1~2cmの風化土壌層とA₀層に分布している。表中の残存林とはのり面造成時に皆伐され、その後天然更新したのり肩のアカマツ林であり、乾性褐色森林土が見られる。

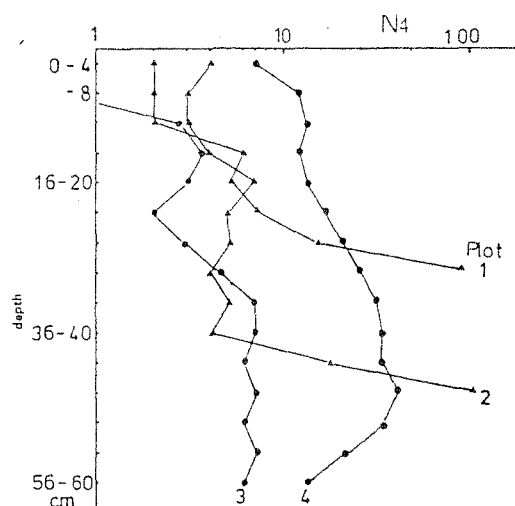


Fig.2.18 Results of penetrating tests on cut slopes(transported soil) in Asiu.

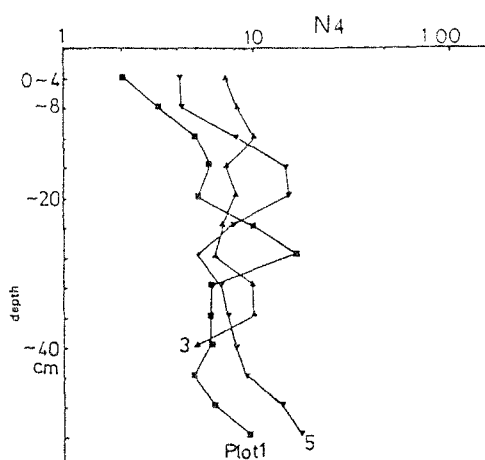
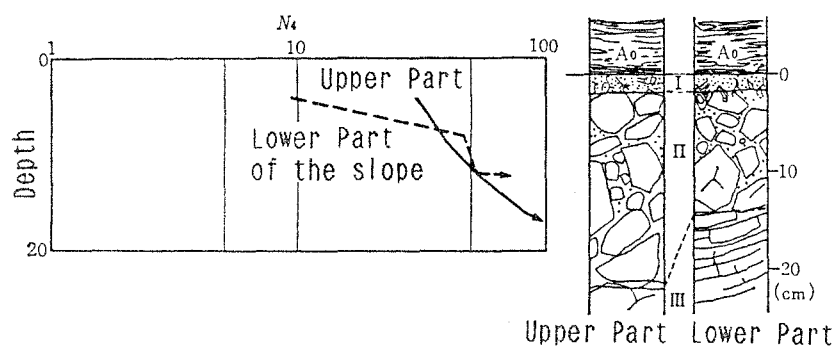


Fig.2.19 Results of penetrating tests on fill slopes in Asiu.



Ao: Litter of Miscanthus sinensis (Upper slope) and Pinus densiflora (Lower slope).
 I: Fine soil layer (Hardness by Yamanaka tester: 12 ~ 15mm)
 II: Weathered bedrock with 10~20% of fine soil.
 III: Bedrock with cracks.

Fig.2.20 Soil profiles of Higasiyama slope
 (H-3.4 slope of Tab.2.8,9, when 19 years after construction, biomass on the ground is 55t/ha .)

Tab.2.6 Soil chemical properties of Asiu forest roadside slopes.

Soil No.	Earth Work -Slope No.	Years After Const-ruction	Part of the Slope (1)	Layer (2)	pH		CEC me/100g	Ex. Base me/100g			Base Satu-ration %	C %	N %	Humus				
					H ₂ O	KCl		Na	K	Mg				Ca	C/N	%		
A-1	Cut-1	12	Up	Sur*	4.90	4.00	15.3	0.07	0.20	0.10	0.22	3.8	3.65	0.20	18	6.28		
2			Mid	Sur*	4.85	4.00	14.5	0.03	0.16	0.06	0.07	2.2	3.24	0.19	17	5.57		
3			Low	Sur	4.95	3.95	15.2	0.08	0.21	0.11	0.07	3.1	3.29	0.19	17	5.66		
4			Low	Sub	4.75	4.00	16.1	0.02	0.13	0.05	0.03	1.4	3.62	0.21	17	6.22		
5	-2	14	Up	Sur*	4.95	4.10	7.0	0.02	0.12	0.06	0.05	3.6	0.60	0.08	7	1.03		
6			Low	Sub	4.90	4.10	9.0	0.18	0.11	0.06	0.05	4.4	1.14	0.09	13	1.96		
7	-3	16	Up	Sur*	5.00	3.95	10.2	0.04	0.20	0.16	0.08	4.7	0.61	0.06	10	1.05		
8			Low	Sur	5.10	4.05	10.2	0.03	0.22	0.33	0.38	9.4	1.42	0.09	16	2.44		
9	-4	19	Low	Sub	5.15	4.05	13.4	0.18	0.11	0.17	0.22	5.1	0.89	0.06	15	1.53		
10			Low	Sur	5.10	4.20	10.7	0.04	0.24	0.18	0.08	5.0	0.44	0.06	7	0.76		
11	Fill-1	2	Mid	Sur	5.20	4.15	9.8	0.03	0.13	0.19	0.09	4.5	1.40	0.12	12	2.41		
12			Mid	Sub	5.25	4.15	9.7	0.02	0.14	0.20	0.13	5.1	1.08	0.09	12	1.86		
13			-2	4	Mid	Sur	5.15	4.10	11.3	0.02	0.14	0.11	0.08	3.1	1.50	0.10	15	2.58
14					Mid	Sub	5.15	4.05	11.4	0.02	0.13	0.17	0.13	3.9	1.58	0.12	13	2.72
15	-3	11	Mid	Sur	5.30	4.15	8.4	0.03	0.20	0.22	0.24	8.2	1.15	0.07	16	1.98		
16			Mid	Sub	5.10	4.10	11.3	0.02	0.12	0.05	0.05	2.1	1.70	0.07	19	2.92		

(1) Up:Upper part of the slope, Mid:Middle part, Low:Lower part.

(2) Sur:0 to 4cm depth (Sur* means the surface layer is the whole soil layer
Sub:20to24cm depth.

Tab.2.7 Soil physical properties of Asiu forest roadside slopes.

Soil No.	Volume Weight		Porosity			Water		Air		Three Phase Structure				Gravel (3)	Saturated Permeability
	(1)	(2)	Total	Coarse	Fine	Max.	Min.	(1)	(2)	Solid	Gravel	Water	Air		
	g/cc		%	%	%	%	%	%	%	Root	Fine Soil	Fine Soil	Fine Soil		cm/sec
A-3	0.99	0.30	61.5	18.0	43.5	35.1	50.5	26.4	38.0	38.5	30.5	8.0	25.8	35.7	5.6×10^{-2}
6	1.17	0.49	54.2	19.6	34.6	36.7	55.6	17.5	26.5	45.8	34.0	11.8	21.7	32.5	5.7×10^{-2}
7	1.10	0.85	59.3	31.4	27.9	46.8	54.9	12.4	14.6	40.8	14.8	26.0	39.8	19.5	4.3×10^{-2}
8	1.10	0.55	57.1	31.0	26.2	48.4	67.2	8.7	12.1	42.9	28.0	14.9	38.7	18.4	9.7×10^{-2}
9	1.17	0.74	56.6	27.6	29.0	43.9	57.2	12.7	16.5	43.5	23.3	20.2	34.0	22.6	6.4×10^{-2}
10	0.91	0.41	64.6	18.1	46.5	44.8	59.0	19.8	26.0	35.8	24.0	11.4	18.0	46.6	4.6×10^{-2}
11	1.20	0.56	53.9	22.8	31.2	35.7	52.3	18.2	26.7	46.2	31.8	14.4	29.0	24.9	1.5×10^{-2}
12	1.39	0.59	46.9	24.8	22.2	37.6	62.7	9.4	15.5	53.0	40.0	13.0	30.7	10.3	3.2×10^{-2}
13	1.13	0.65	57.0	23.2	33.9	40.3	53.8	16.7	22.3	43.0	25.0	18.0	30.5	26.6	3.0×10^{-2}
14	Gravel														
15	1.00	0.51	61.8	20.9	40.9	46.3	60.5	15.5	20.3	38.2	23.5	14.7	29.1	32.7	4.3×10^{-2}
16	1.07	0.46	59.2	5.5	53.7	46.7	65.3	12.5	17.5	40.8	28.5	12.3	30.0	21.2	2.8×10^{-2}

(1):Based on gravel and fine soil. (2):Based on fine soil.

(3):Percent by weight.

Tab.2.8 Soil physical properties of Higasiyama roadside slopes.

Soil No.	Slope Condition(4)	Volume Weight		Porosity			Water		Air		Three Phase Structure				Gravel (3)
		(1)	(2)	Total	Coarse	Fine	Max.	Min.	(1)	(2)	Solid	Gravel	Water	Air	
		g/cc		%	%	%	%	%	%	%	Root	Fine Soil	Fine Soil	Fine Soil	
H-1	23yr UP	0.88	0.37	66.9	26.5	40.4	40.2	51.7	26.7	34.4	33.1	+	22.3	10.8	25.7
-2	LOW	0.92	0.37	63.4	23.5	39.9	36.2	47.3	27.2	35.6	36.6	2.4	23.5	10.7	24.8
-3	23yr UP	0.82	0.37	67.3	20.5	46.7	28.5	35.5	38.9	48.5	32.7	1.4	19.8	11.4	19.0
-4	LOW	0.96	0.20	63.8	22.7	41.1	38.2	55.2	25.7	30.1	36.2		30.8	5.4	23.0
-5	6yr MID	1.12	0.43	57.5	22.8	34.7	41.7	61.1	15.8	23.2	42.6	+	31.8	10.8	24.0
-6	50yr MID	0.92	0.39	64.6	11.8	52.8	23.2	30.0	41.4	53.6	35.4	0.6	22.7	12.1	13.9

(1) Based on gravel and fine soil.

(2) Based on fine soil.

(3) Percent by weight

(4) Years after construction and the part of the slope.

Tab.2.9 Soil chemical properties of Higasiyama roadside slopes.

Soil No.	yr	pH		cac m.e. 100g	Ex. Base m.e. 100g				B.S. %	C%	N%	C/N	humus %
		H ₂ O	KCl		Na	K	Mg	Ca					
H-1	23	3.95	3.20	18.0	0.03	0.33	0.16	0.25	4.28	2.48	0.09	28	4.27
2		3.90	3.25	18.6	0.08	0.29	0.11	0.19	3.60	1.95	0.10	20	3.35
3	23	4.20	3.30	17.1	0.04	0.28	0.10	0.05	2.75	2.84	0.11	26	4.88
4		4.05	3.20	20.5	0.04	0.36	0.17	0.16	35.6	3.27	0.13	25	5.62
5	6	4.80	3.85	10.7	0.07	0.12	0.09	0.19	45.2	0.48	0.06	8	0.82
6	50	4.00	3.20	17.4	0.03	0.22	0.29	0.66	6.90	2.99	0.14	21	5.14

*B.S.:Percent Base Saturation.

C. 甲賀・柏木

1980年から樹木植栽試験が行なわれているが、植栽法による生育の差はまだ現れていない。Tab.2.10,11 に示したように、土壌は石礫をほとんど含まず、表層と下層のちがいが明確で、下層はち密で透水係数が小さく、細孔隙の割合が粗孔隙より大であり、未発達でち密な古琵琶湖層群の地質的特徴がうかがえる。

化学的性質は塩基飽和度が高く、したがってpHもかなり高く、透水不良で塩基溶脱の程度が少ない。芦生とちがって、炭素、チッ素は表層で大、下層小の明確な傾向がある。

播種された芝草と侵入した草本類は全面を被覆しており、表層の土壌発達は草本類の根系分布と対応していると考えられる。

D. 島本

切り面に塩ビ格子ワク工を施工して芝草播種が行なわれ、2年半前に植栽された樹木苗木の生育は比較的よいところと明らかにきわめて不良な部分が認められた。

樹木生育の差は基盤のちがいによってもたらされたのは確実とみられ、その N_4 値をFig.2.21 に、土壌の諸性質をTab.2.12,13に示した。両者のちがいを指摘すると、不良地は礫がなく、下層 N_4 値は30以上を示し、水分量多く、粗大な孔隙が少ない。またpHは大で、塩基飽和度高く、透水不良となっている。これらは生育に差をもたらした原因としてもっともな要因であり、これは同じ大阪層群でも不良な基盤とそれ程でもないものがあることを示す。

一方、炭素とチッ素の含有率のちがいは初期条件ではなく現在までの植生の繁茂状況による結果とみなした方が適當である。

なお、これらののり面の植生概況は後のTab.2.16にまとめてある。

(4) 各のり面土壌の比較

以上に各対象のり面土壌を、一般に測定されることの多い要因の測定結果について個別に述べたが、諸要因間にはさまざまな相関関係があるので、それらを考慮して諸要因を整理し、各のり面土壌の整理分類比較を行ない、樹木生育基盤としての特性をみるためにQモード因子分析を行なった。

採用した要因とその相関関係はTab.2.14に示したとうりで、これらの要因はいずれも樹木生育との関連において重要と思われるものである。

Qモード因子分析法はケース間の関連性を要約し、分類群の特徴の把握を目的とするもので、計算はSPSSパッケージによる。

まず、すべてのケースによる計算結果がFig.2.22 である。これは回転して2因子軸にまとめたもので、第1因子による説明率が77.4%、第2因子までで91.9%である。図中の小さい軸と記号は2軸での因子パターンをプロットしたもので、この図では横軸が礫含有率(stra)、空気量(air)、粗孔隙量(copo)、最小容気量(aial)、炭素含有率(C)、チッ素含有率(N)の負荷量が大きく、右側ほどこれらの値が大きく土壌が多孔性で、腐植も多いこ

Tab.2.10 Soil physical properties of Koga-Kashiwagi slopes.

Const- Soil ruction No. Layer (4)	Volume Weight		Porosity			Water Max.		Air Min.		Three Phase Structure			Structure Water Air			Gra- vel (3)	Saturated Permea- bility cm/sec		
	(1)	(2)	Total, Coarse			(1)	(2)	(1)	(2)	Root	Gravel	Fine Soil	Water	Air					
	g/cc	%	%	%	%	%	%	%	%						%			%	%
Cut Slope	U-1	Sur	0.91	0.91	64.3	34.5	29.8	55.9	55.9	8.4	8.4	35.7	+	0	35.7	41.9	22.4	0	3.3×10 ⁻³
	-3	Sur	0.86	0.86	66.4	33.7	32.7	61.5	61.5	4.9	4.9	33.6	+	0	33.6	43.3	23.1	0	1.6×10 ⁻³
	-4	Sub	1.42	1.42	44.6	34.0	10.6	44.1	44.1	0.5	0.5	55.4		0	55.4	37.9	6.7	0	7.4×10 ⁻⁶
	-5	Sur	1.03	1.03	59.3	32.1	27.4	54.4	54.4	5.1	5.1	40.5	+	0	40.5	41.2	18.3	0	1.6×10 ⁻³
	-7	Sur	0.92	0.92	64.1	32.8	31.3	59.3	59.3	4.8	4.8	35.9	+	0	35.9	39.5	24.6	0	1.0×10 ⁻²
	-8	Sub	1.26	1.26	51.0	30.0	21.0	47.1	47.1	3.9	3.9	39.0		0	39.0	36.7	14.3	0	4.4×10 ⁻⁵
Fill Slope	S-1	Sur	0.95	0.95	62.6	31.3	31.3	53.7	53.7	8.9	8.9	37.4	+	0	37.4	38.0	24.6	0	1.1×10 ⁻²
	-3	Sur	0.72	0.72	71.0	30.0	41.0	57.9	57.9	13.1	13.1	29.0	+	0	29.0	34.8	36.2	0	3.7×10 ⁻²
	-4	Sub	1.13	1.13	55.5	32.1	23.4	47.5	47.5	8.0	8.0	44.5		0	44.5	33.9	21.6	0	5.3×10 ⁻⁴
	-5	Sur	0.98	0.98	61.0	28.5	32.5	52.4	52.4	8.6	8.6	39.0	0.5	0	38.5	35.0	26.0	0	1.4×10 ⁻²
	-6	Sub	1.44	1.40	43.4	35.7	7.7	42.3	43.8	1.1	1.1	56.6		3.5	53.1	38.7	4.7	6.2	7.4×10 ⁻⁶

(1):Based on gravel and fine soil. (2):Based on fine soil.

(3):Percent by weight. (4): Sur:0-4cm, Sub:20-24cm depth.

Tab.2.11 Soil chemical properties of Koga-Kashiwagi slopes.

Soil No		pH		CEC m.e./ 100g	Ex. Base m.e./100g				B. S. %	C%	N%	C/N	humus %
		H ₂ O	KCl		Na	K	Mg	Ca					
CUT	U- 1	6.30	4.80	13.0	0.07	0.23	5.54	4.19	77.2	0.85	0.13	6.5	1.46
	2	5.85	4.35	9.2	0.08	0.14	3.56	2.20	65.0	0.21	0.05	4.2	0.36
	3	6.10	4.70	11.3	0.41	0.22	4.73	4.15	84.2	0.81	0.09	9.0	1.39
	4	6.70	5.20	9.2	0.05	0.19	3.69	3.03	75.7	0.47	0.05	9.4	0.81
	5	6.60	4.70	10.2	0.08	0.21	2.67	6.88	96.5	0.49	0.03	16	0.84
	6	6.45	4.70	11.3	0.07	0.23	4.58	4.68	84.6	0.52	0.06	8.7	0.89
	7	6.45	4.85	13.5	0.09	0.23	4.17	8.10	93.3	1.30	0.08	16	2.24
	8	6.15	4.30	14.0	0.11	0.37	6.67	5.29	88.9	0.53	0.02	27	0.91
FILL	S- 1	6.15	4.60	12.9	0.04	0.59	4.77	5.24	82.5	1.17	0.09	13	2.01
	2	6.25	4.50	11.6	0.03	0.43	5.28	4.27	86.3	0.52	0.04	13	0.89
	3	6.20	4.90	15.0	0.04	0.73	3.56	6.68	73.2	1.60	0.12	13	2.75
	4	6.30	4.50	12.0	0.04	0.37	4.15	5.29	82.1	0.41	0.03	14	0.71
	5	6.10	4.35	15.4	0.08	0.41	3.25	6.00	63.2	1.03	0.06	17	1.77
	6	6.10	4.10	12.2	0.05	0.31	3.69	5.46	78.0	0.32	0.01	32	0.55

*B.S.:Percent Base Saturation.

Tab.2.12 Soil physical properties of Shimamoto slopes.

Soil No.	Condition (4)	Volume Weight		Porosity			Water		Air		Three Phase Structure						Gravel (3)	Saturated Permeability
		(1)	(2)	Total	Coarse	Fine	(1)	(2)	(1)	(2)	Solid	Gravel	Structure		Water			
													Root	Fine Soil		Air		
		g/cc		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	cm/sec	
I-1	BS-UP-SUR	1.18	0.93	52.8	28.3	24.5	41.9	47.8	10.9	12.4	47.2		12.4	34.8	29.5	23.3	26.2	2.1×10 ⁻⁵
-2	-SUB	1.58	1.26	39.2	26.1	13.1	34.0	44.6	5.2	6.9	60.8		23.7	37.1	25.9	13.3	39.1	4.7×10 ⁻⁷
-3	-L -SUR	1.37	1.08	49.2	27.4	21.8	37.2	44.5	12.0	14.3	50.9		16.4	34.5	28.5	20.7	32.2	3.2×10 ⁻⁴
-4	-SUB	1.41	1.37	45.0	35.7	9.3	39.2	40.6	5.5	5.7	55.0		2.8	52.2	35.8	9.2	5.1	4.8×10 ⁻⁷
-5	WS-UP-SUR	1.55	1.55	39.7	22.6	17.1	27.8	27.8	11.9	11.9	60.3		0.0	60.3	20.3	19.4	0.0	4.8×10 ⁻⁷
-6	-SUB	1.48	1.48	44.0	42.7	1.3	44.4	44.4	-0.4	-0.4	55.0		0.0	56.0	42.5	1.5	0.0	5.8×10 ⁻⁸
-7	-L -SUR	1.31	1.31	50.0	46.6	3.4	49.1	49.1	0.9	0.9	50.0		0.0	50.0	46.7	3.3	0.0	5.8×10 ⁻⁸
-8	-SUB	1.53	1.53	40.5	32.8	7.7	34.5	34.5	6.0	6.0	59.5		0.0	59.5	32.9	7.6	0.0	4.9×10 ⁻⁵

(1):Based on gravel and fine soil. (2):Based on fine soil.

(3):Percent by weight.

(4):BS:Better site, WS:Worse site, UP:Upper part, L:Lower part, SUR:Surface layer(0-4 cm), SUB:Sub layer(20-24 cm).

Tab.2.13 Soil chemical properties of Shimamoto slopes.

Soil No	Conditon*	pH		CEC m.e. 100g	Ex. Base		m.e. 100g		B.S. %	C%	N%	C/N
		H ₂ O	KCl		Na	K	Mg	Ca				
I-1	BS-UP-SUR	4.85	3.55	12.9	0.07	0.33	1.22	2.65	33.1	2.01	0.11	18
2	-SUB	5.10	3.60	10.9	0.07	0.13	1.02	1.56	25.5	0.45	0.02	23
3	-L -SUR	4.80	3.60	13.9	0.08	0.62	1.43	1.72	27.7	2.07	0.14	15
4	-SUB	4.90	3.60	13.4	0.07	0.17	0.99	1.56	20.8	0.85	0.06	14
5	WS-UP-SUR	6.00	4.90	4.8	0.03	0.16	0.82	2.80	79.4	0.43	0.02	22
6	-SUB	5.80	3.80	16.2	0.14	0.17	4.53	8.27	80.9	tr	tr	
7	-L -SUR	5.55	4.10	6.4	0.62	0.09	1.05	3.39	80.5	0.02	0.04	50
8	-SUB	5.70	4.45	3.9	0.70	0.06	0.99	1.38	80.2	tr	tr	

*Codes are same as the previous table.

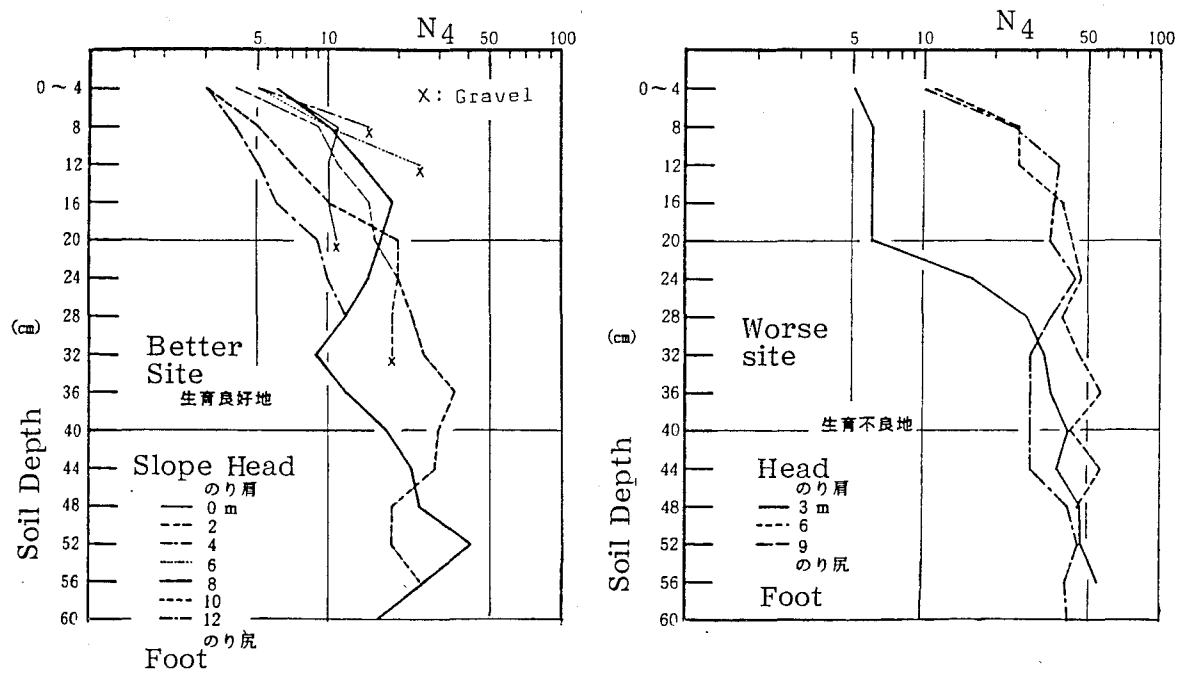


Fig.2.21 Results of penetrating tests on Shimamoto slopes.

とを示す。一方、縦軸は容積重(yo), pH, 最大容水量(waal), 水分率(water)の軸で、下方ほど水分が多く、ち密で排水不良と考えられる。

それぞれのケースは右上半分は東山、芦生の中・古生層で、森林が成立している東山が上方にくる。下左半分は新生代堆積層である島本、甲賀、柏木がならぶ。この両者は明確に性格が異なるので、分けて計算した。

Fig.2.23 は中・古生層での結果であり、説明率は第1因子で77.7%, 第2因子までで92.4%である。横軸はpH, 水分率, 最大容水量, 礫含有率, 容積重の軸で右側ほどそれぞれの値が大である。縦軸は空気率, CEC, 最小容気量, 炭素, 粗孔隙, チッ素で上ほど大である。図上で、左上ほど粗大な孔隙が多く、腐植が集積しており、右下ほど水分多くち密である。東山の森林状態のものが左上に位置し、植生状態の貧弱なものほど右下となっているようで、表層土が安定して土壌化が進むにつれ、右下から左上に移行するであろう。

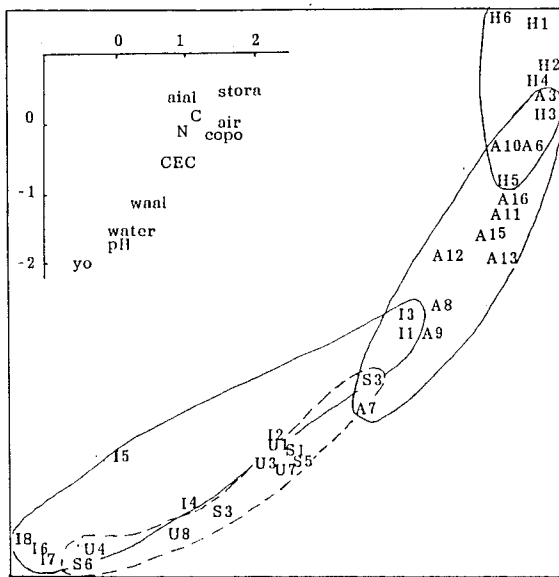
新生代堆積層の計算結果はFig.2.24 であり、第1因子軸での説明率は46.3%, 第2因子までで86.4%である。横軸は最小容気量, 粗孔隙量, 炭素, チッ素などであり、縦軸は容積重, 水分率, pHなどである。図中で右上ほど粗大な孔隙と腐植に富み、ち密度低く、排水のよい傾向をもち、左下ではその逆となる。各ケースはかなり広い範囲に分布するが、よくみると、地区、および層位、さらに樹木生育状況によってグルーピング可能である。つまり、甲賀・柏木地区、島本生育良好地、島本生育不良地の3者が区別でき、さらに表層における土壌化の進行はすべてにみられる。図上を左下から右上にむかって土壌が発達していくと考えられるが、中央あたりから左下のものは下層土としても不良と指摘できるだろう。また甲賀・柏木は切取りと盛土にちがいがあってもかかわらず、同一の母材であるため、分布範囲が同一であるのだろう。このように、のり面の土壌は母材の影響を相当に強く受けており、これは未熟土であることにもよるのであろう。

以上の11要因によるQモード因子分析は樹木生育基盤としての土壌の総合的な位置づけに有効である。また、全ケースで得られた因子軸と地質毎に得られたそれは、たがいに大きく異なる意味を持つのではなく、大まかにいえば、粗孔隙や腐植に代表される土壌化の軸と、もう一方はち密度や水分率, pHに示される排水性(水湿状態)の軸である。このような視点からみれば、中・古生層は大阪層群や古琵琶湖層群より粗しょう多孔質で排水がよく、土壌が安定さえすれば一般的な樹木生育基盤として好ましいと推察され、またそれは実際の樹木生育状況と比較的一致していると考えられる。しかし実際の樹木生育状況とは地質ごとにみたほうが対応がより明確となる。

したがって、樹木生育基盤としての評価にあたっては(イ)基岩(母材料)による評価と(ロ)そこに出現した土壌による評価、の2通りが必要であり、(ロ)の基準は(イ)によって異なったものとなるわけである。

Tab.2.14 Correlation coefficients between soil properties of slopes.

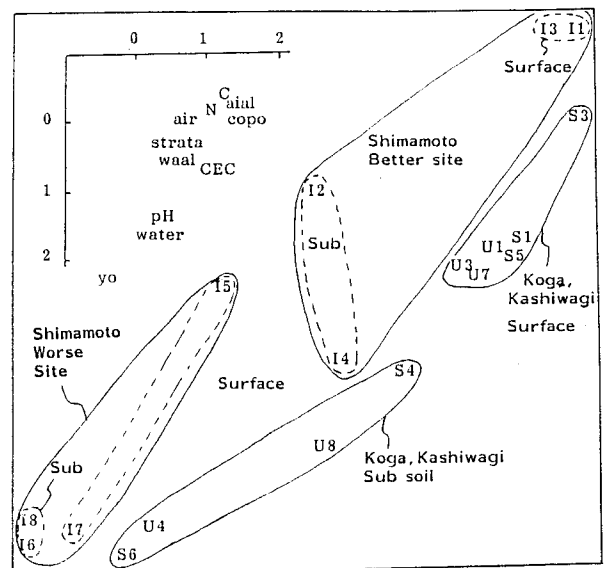
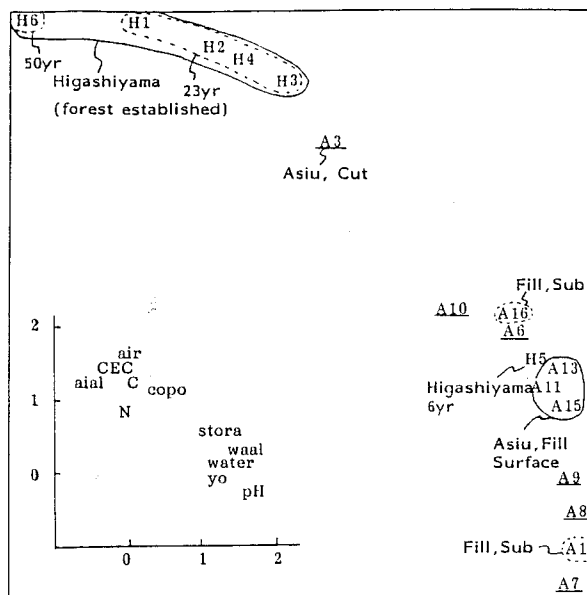
Properties	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. pH	-0.42	-0.65	-0.44	0.66	-0.46	0.67	-0.60	-0.78	0.64	-0.67
2. C.E.C.		0.66	0.46	-0.43	0.42	-0.20	0.51	0.51	-0.04	0.10
3. C			0.84	-0.69	0.67	-0.50	0.71	0.79	-0.33	0.47
4. N				-0.71	0.67	-0.31	0.63	0.61	-0.07	0.45
5. Volume weight					-0.88	0.54	-0.86	-0.78	0.13	-0.78
6. Coarse porosity						-0.56	0.92	0.76	-0.02	0.53
7. Water							-0.73	-0.74	0.74	-0.55
8. Air								0.89	-0.22	0.51
9. Air min.									-0.56	0.54
10. Water max.										-0.38
11. Gravel weight %										



← Fig.2.22 Results of Q-mode factor analysis using all cases.

✓ Fig.2.23 Results of Q-mode factor analysis using cases of Paleozoic and Mesozoic sedimental rocks.

↓ Fig.2.24 Results of Q-mode factor analysis using cases of Cenozoic sediments.



(5) のり面における有機物集積

のり面の土壌は植生と相互に関係しながら発達していく。のり面における植生回復にもなう土壌の発達が有機物の集積と関連が深いことは前節に述べた。また有機物施用や施肥などの土壌管理の指針として、のり面における有機物集積過程を知る必要があるにもかかわらず、まとまった研究はない。そこで、本節で対象としたのり面および前節の若狭地方のり面と西神（切り取り、施設のり面、30°，神戸層群，裸地，神戸市，ただし貫入試験データのみ使用）を加えて検討する。

A. 風化土壌層の深さ

単位面積あたりの鉱物質土壌中の有機物量はその含有率と土量から求められる。固結した地質の切り取りのり面における風化土壌層形成の過程は土地の生産力回復の主要な過程であろう。

古琵琶湖層群の切り取りのり面（甲賀）での貫入試験結果をFig.2.25 に示す。経験的にいえば N_4 値が40をこえると根系の分布はきわめて少なく、100をこえるところでは亀裂にしか分布しないようである¹¹⁾。そこで、 N_4 値が40未満、および100未満を風化土壌層の目安として、各地の切り取りのり面のデータをTab.2.15にまとめた。これによれば、第3紀～洪積世の堆積層である西神，甲賀，島本，および塩基性岩類の大飯においては10～30cm程度の N_4 値からみた風化土壌層は少なくとも5年程度で形成されていることになる。

B. 有機物集積量

切り取りのり面上の部位と有機物集積量の関係をFig.2.26 に示す。芦生は侵食のみられる、やや不安定なおり面であり、のり上部ではほとんど集積せず、下部の崩積土部に集積している。類似した地質の東山は勾配約50°のほぼ安定したのり面であり、若干A○層が下部に多いようだが、崩積土層がほとんど形成されないためか、部位による土壌中有機物量に差はない。

のり面ごとの測定結果をそれぞれの植生概況とともに示す。(Tab.2.16)

A○層と土壌中の合計値を造成後年数との関係でみたのがFig.2.27 に示す。これによれば、地域や地質、植生状況などによって集積量のレベルにかなりの幅がみられる。芦生（切り取り）19年区で他より著しく少ないのは急勾配で侵食が激しいためで、これを除けば中・古生層の切り取りのり面では年数とともによく似た増加傾向を示し、初期に増加が急でのちゆるやかとなっている。さらに芦生の盛土のり面、若狭の広葉樹植栽区やクロマツ植栽区など地質と切り盛りや植生類型ごとに一定の増加傾向がみられるようである。

まず、中・古生層の切り取りのり面では年数とともに集積量は漸増するが、盛土では特に初期の増加が著しい。島本の例は導入植物の生育不良地では集積量が大幅に少なくなること示している。

導入植物の種類も大きな意味を持つようであり、若狭の例では芝草のみののり面より樹木植栽のり面の方が、またクロマツ植栽区より広葉樹植栽区（小数のクロマツが混植されている）の方が有機物集積の速度が早い。

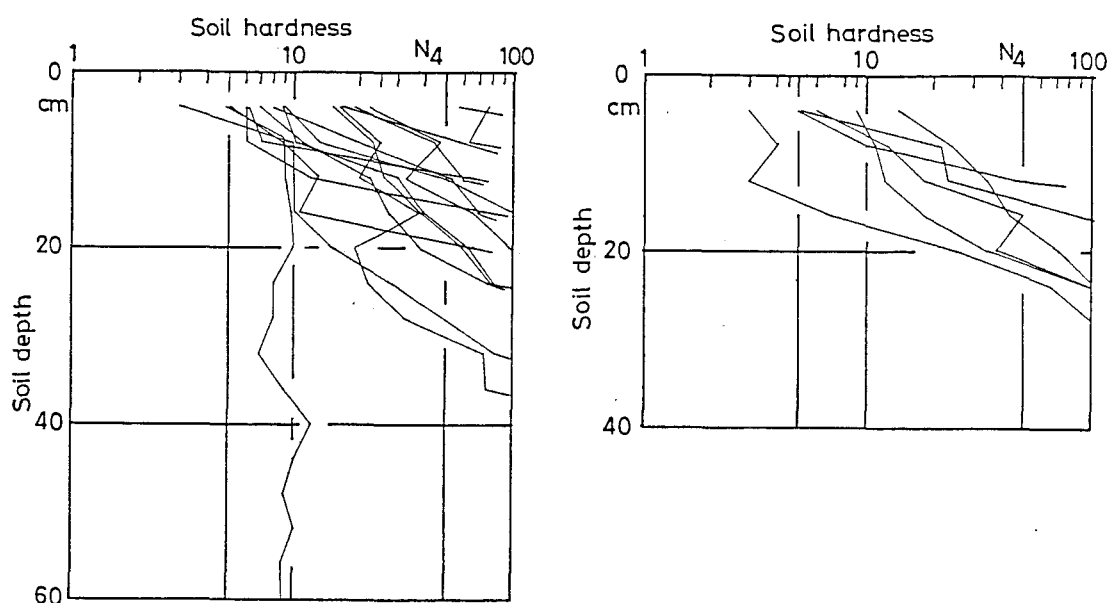


Fig.2.25

Vertical distribution of soil hardness expressed by N_4 (times of rammer drops needed to penetrate 4 cm) of a corn-penetrometer (corn : 3 cm², 25 , rammer: 1.17 kg, 20 cm free drop) ; left:3years after construction in Koga, right : 5 years after.

Tab.2.15 Weathered soil depth, estimated by cornpenetrometer, of some cut-slopes.

Geology	Area	Years After Const- ruction	Number of Samples	Soil Depth (cm)			
				$N_4 < 40$		$N_4 < 100$	
				mean	s.d.	mean	s.d.
Paleozoic Mesozoic	Higashi-yama	19	6	10.0	4.5	15.3	6.7
Cenozoic Kobe group	Seishin	1~3*	3	14.0	4.3	20.7	4.7
Kobiwako group	Koga	3	15	13.2	7.9	17.5	8.7
		5**	6	16.0	3.7	21.3	5.5
Osaka group	Shimamoto	3	2 ***	>60		>60	
		3	3 *****	26.0	10.2	>60	
Basic rocks	Ohi	1	2	<2		<2	
		4	2	18.0		18.0	
		5	2	20.0		20.0	
		9	1	40.0		48.0	

* Not clear. ** Two years after planting.

*** Better site. *****Worse site for tree growth.

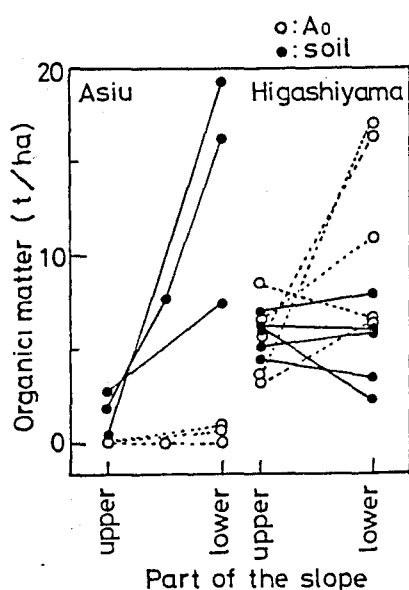


Fig.2.26

Difference of soil organic matter accumulations by the part of the cut-slopes.

Geology	Area	Cut/ Fill	Years After Const- ruction	Vegetation Dominant species CV ¹ , BA ² (%) (m ² /ha)	Organic Matter Accumulation (t/ha)				Remark
					Ao	Soil	Total	AoPer- centage	
Paleozoic Mesozoic	ASIU	Cut	12	Shrub, CV=23, BA=1.2		8.5	8.5		Natural suc- cession on steep and unstable slopes. ¹⁰⁰⁰
			14	Shrub, CV=13, BA=1.4	0.4	9.8	10.2	3.9	
			16	Shrub, CV=21, BA=2.0	0.4	5.0	5.4	7.4	
			19	Shrub, CV=20, BA=0.4		0.7	0.7		
		Fill	2	Moss, CV<1		13.9	13.9		Natural suc- cession.
			4	Shrub, CV=20, DBT ¹⁰⁰⁰ , CV=100,	7.8	21.2	21.2		
			11			15.7	23.5	33	
	HIGASHI- YAMA	Cut	6	<u>Pinus densiflora</u> (shrub)	1.0	1.2	2.2	45	Lawn grass seeding and natural regene- ration of Pine- stand.
			19	P.d., BA=19.5	10.3	6.3	16.6	62	
			19	P.d., BA=7.6	7.5	5.6	13.1	57	
			19	P.d., BA=49	8.6	4.0	12.6	68	
			23	P.d., CV=100	4.8	7.4	12.2	39	
			23	P.d., CV=100	11.0	4.3	15.3	72	
			50	P.d., CV=100	21.8	15.4	37.2	59	
		Natural	—	P.d., CV 100	30.9	13.1	44.0	70	—19years after clear cutting
Cenozoic Kobiwako group	KOGA	Cut	5(2) ¹⁰⁰⁰	<u>Quercus glauca</u> , BA=4.3	<1	16.9	17	<6	Experimental planting of <u>Quercus glauca</u> and <u>Alnus firma</u> .
				Q.g., BA=4.6	<1	28.9	29	<3	
				Q.g., BA=3.8	<1	29.5	30	<3	
				Q.g., BA=2.2	<1	33.2	33	<3	
	KASHIWA- gi	Fill	6(2) ¹⁰⁰⁰	Q.g., BA=0.3	<1	29.7	30	<3	Planting of evergreen broad- leaved trees.
Osaka group				Q.g., BA=1.2	<1	25.9	26	<4	
				Q.g., BA=2.7	<1	24.6	25	<4	
Basic rocks	SHIMA- MOTO	Cut	3	<u>Quercus spp.</u> , BA=7.3		42.1	42.1		
				<u>Quercus spp.</u> , BA=5.3		4.0	4.0		
	AYABE	Fill	7	Grass, CV=100	0.18	5.45	5.6	3.2	Lawn grass seeding
					0.39	8.22	8.6	4.5	
					0.28	7.26	7.6	3.7	
				<u>Pinus thunbergii</u> BA=15.6	3.38	8.12	11.5	29	Lawn grass seeding and tree planting
				P.t., BA=16.1	1.64	12.1	13.7	12	
				<u>Amorpha fruticosa</u> CV=100	0.7	30.5	31.2	2.2	
	OHI	Cut	7	Grass	0.45	6.78	7.2	6.3	
		Fill	5	P.t., BA=33.3	2.77	10.5	13.3	21	Mixed stand
				P.t., BA=46.9	2.08	12.4	14.5	14	
				DBT ¹⁰⁰⁰ , BA=18.0	2.42	14.2	16.6	15	
Rhyolite & its tuff	TAKAHAMA	Cut	9	P.t., BA=37.8	6.68	10.0	16.7	40	
				P.t., BA=12.1	0.36	5.02	5.4	6.7	
				DBT ¹⁰⁰⁰ , BA=3.9	0.82	3.77	4.6	18	
		Fill	7	DBT, BA=25.7	2.33	29.6	31.9	7.3	Mixed stand
				DBT, BA=23.7	2.85	18.5	21.4	13	
				DBT, BA=23.5	3.12	63.8	66.9	4.7	
		Natural	—	<u>Machilus thunbergii</u>	5.0	57.8	62.8	8	natural

¹ CV means cover (%). ² BA means total basal area per ha. ¹⁰⁰⁰ Plant succession was studied by MURIMOTO (1982). ¹⁰⁰⁰ DBT means deciduous trees. ¹⁰⁰⁰⁰ Number in parenthesis means years after planting.

Tab.2.16 Amount of accumulated organic matter and Ao percentage on each investigated slope.

古琵琶湖層群や大阪層群で芝草播種と樹木植栽が行われた事例では造成後間もないにもかかわらず集積量が多い。これは植生のほかに、細粒質の排水不良基盤であることによる有機物分解不良という要因も考えられる。したがって集積量が多いことがかならずしも成績のよいことを示すわけでもない。

つぎに、A〇層と鉱物質土壌中の割合については植生により大きく異なり、アカマツ・クロマツ区のA〇層の割合が20~70%，広葉樹区で約3~15%、芝草のみの場合はほぼ5%以下となり腐植の集積形態の差異を示している。

この土壌有機物の集積過程は物質循環の系としてののり面の生態系が成立していく過程とみることができる。

Olson¹²⁾は林床における有機物集積モデルを以下のように示している。

$$X = (L/k)(1 - e^{-kt})$$

ただし、X：単位面積あたりの有機物（炭素）量，L：収入（リター量），

k：有機物平均分解率，t：時間

これを用いれば初期に増加が著しく、のち緩やかとなる傾向が説明され、L/kのいわゆる動的平衡量に近づいてくることが分る。のり面ではLやkがtと無関係に一定かどうか疑問であるが、試みにアカマツ林でのkの推定例（堤¹³⁾）を用いて東山のり面のL/kを求めると50年経過区（現在の集積量は37.2t/ha）で42~49t/haとなった。この値はのり肩のアカマツ林での現在の集積量（44t/ha）にほぼ等しいが、アカマツ天然林の138t/haという例¹³⁾を基準とすればその約1/3にすぎない。つまり、tが増加するだけでのり面の土壌の集積量はのり肩のアカマツ林土壌のレベルとなり得るが、後者の天然林とはL/kも異なることになる。すなわち調査対象地ののり面やアカマツ林が発達してこの天然林のレベルに到達するものとすればL/kが増加する必要がある。この過程は恐らく長期的な風化土壌層の増加や土壌の構造の発達に対応するのであろう。

このモデルを樹木生育基盤整備の観点からみると、たとえば造成時の人為的な有機物の供給は動的平衡量に至る時間を短縮するものと位置づけられる。定数の変化がないとすれば、L、k、Xのうち2者がわかれば短縮したい年数に必要な有機物施用量を求めることができ、整備計画にひとつの考え方を提供するものと考えられる。

2-3 総括

のり面における樹木生育基盤としての土壌の性質に関する研究は少ないが、林道切取りのり面における植生回復が土壌の安定性と密接な関係をもつとする報告がいくつかあり（小橋ら¹⁵⁾，小橋・吉田¹⁶⁾，新谷ら^{17, 18)}，森本^{5, 6)}）植生の侵入・定着・生育・遷移と関連づけて考察されている。亀山¹⁹⁻²¹⁾も高速道路のり面の植生遷移に関連してのり面の立地条件のはたす役割を考察し、古琵琶湖層群の切取りのり面への侵入樹木の根系伸長が土壌硬度によって制限され、その限界は山中式指標硬度21~25mmという。しかし樹木生育基盤としてののり面土壌の諸性質を総合的に明らかにした研究例はみない。

本章では、つぎのような諸点が明らかとなった。（イ）樹木導入によって、芝草のみの緑化より土壌諸性質の発達をうながすことができる。（ロ）導入樹木の種類（クロマツ、広葉樹類、イタチハギなど）によって、土壌の回復速度や方向が異なる。（ハ）植生回復にともなう土壌諸性質の発達は表層で早い。20cm以深では9年経過しても大きくは変わらない。（ニ）風衝地や風化土壌層の少ないところでは植生の生育も土壌の発達も遅れる。

（ホ）中・古生層と新生代堆積層の区分をしたうえで、土壌の11要因によるQモード因子分析の結果、樹木の生育とむすびつけた土壌の分類整理が可能となった。（ヘ）土壌有機物集積量は、地質、切盛りのちがいが、導入植生などによって影響を受け、造成初期で増加が急で、のちゆるやかとなり一定の値に近づくと思われる。（ト）切取りのり面での風化土壌層厚形成状況をいくつかの事例で明らかにし、新生代堆積層、塩基性岩の事例では10~30cm程度の根系伸長可能な層が形成されていた。

上に得られた結果は花崗岩山地の治山造林地における土壌回復過程（堤¹³⁾，中島・伏見²²⁾）と初期条件が未熟土である点で類似しているが、地質が多様であり、切取りによって岩盤が現われるような樹木育成に困難な事例から、たいへん樹木生育の早いルーズな盛土面までふくんでいる。このようなのり面樹木生育基盤の診断のためには地質による区分をしたうえで、土壌諸性質による評価が必要であり、その評価軸は粗孔隙や腐植含有率に代表される土壌化の程度と、もう一方はち密度や水分、pHに代表される排水性（水湿状態）である。

文 献

- 1) 新田伸三・小橋澄治(1976):「土木工事ののり面保護工」:272pp. 鹿島出版会
- 2) 倉田益二郎(1979):「緑化工技術」:298pp. 鹿島出版会

- 3) 安保 昭 (1983):「のり面緑化工法」:196pp. 森北出版.
- 4) 真下育久 (1957): 土壌の理学的性質, 「林野土壌とその調べ方」, 林試土壌部編: 102-120. (林野弘済会)
- 5) 森本幸裕 (1982) 林道のり面の植生回復過程について, (林道建設が自然植生, 景観, 土砂生産量に及ぼす影響とその対策に関する研究報告書): 104-115.
- 6) ——— (1980): 芦生演習林の林道切取りのり面の植生回復について, 斜面緑化研究 2:40-50.
- 7) 福嶋義宏, 玉井重信 (1982) 林道建設後の捨て土斜面における土砂移動量と植生の経年変化, (林道建設が自然植生, 景観, 土砂生産量に及ぼす影響とその対策に関する研究報告書): 89-97.
- 8) 吉田博宣 (1982): 道路切取りのり面の植生景観に関する研究 (博士論文, 京大, 農): 94pp.
- 9) 小橋澄治, 森本幸裕, 吉田博宣, 小橋偕子, 坂本圭司 (1982): のり面の植物生長条件としての土壌の性質 (第1報), 斜面緑化研究 4:36-66.
- 10) 吉田博宣, 森本幸裕, 加藤博之, 増田拓朗 (1979): のり面の植生遷移の調査, 斜面緑化研究. 1:99-137.
- 11) 森本幸裕 (1982): 斜面の植物生育環境とその改善策, 「斜面緑化」四手井綱英監修: 94-128. 鹿島出版会.
- 12) Olson, J.S. (1963): Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology 44(2):322-331.
- 13) 堤 利夫 (1973): 大泉緑地造成に関する調査: 49pp. (大阪府南部公園事務所)
- 14) 井ノ子昭夫 (1981): 土壌中における有機物の分解と集積, 土肥誌 52(6):548-558.
- 15) 小橋澄治ら (1979): 林道切取りのり面の安定性と自然植生の回復について—芦生演習林を例として, 京大演習林報告 51: 152-163.
- 16) 小橋澄治・吉田博宣 (1980): 林道切取りのり面の安定性と自然植生の回復について (2)—のり面勾配と植生状況, 京大演習林報告 52: 103-116.
- 17) 新谷 融・矢島 崇・内藤 満 (1979): 林道法面における植生変化に関する研究, 北大演習林報告 37(1): 165-207.
- 18) ———・—————・————— (1980): 林道切取法面における木本侵入に関する研究, 北大演習林報告 37(3): 631-674.
- 19) 亀山 章 (1977): 高速道路のり面の植生遷移について (I), 造園雑誌 41(1): 23-33.
- 20) ——— (1978): 同上 (III), 造園雑誌 42(2): 2-7.
- 21) ——— (1979): 同上 (IV), 造園雑誌 42(4): 3-11.
- 22) 中島 武, 伏見知道 (1969): 瀬戸内はげ山復旧工事後の土壌 (II), 日林誌 51(10):274-279.

第3章 大規模緑地における樹木生育基盤

本章では緑地を創造するために大規模な土地造成と植栽基盤整備が行なわれた事例である大阪万国博記念公園の自然文化園地区における調査研究をとりあげる。ほぼ全域が多かれ少なかれ盛土され、全体が緩斜面となっており、緑地の規模がたいへん大きい。これらの造成上の特徴のみならず、以下に述べるような緑化手法上の点で1, 2章の事例とは性格を異にする。

対象地は大阪万国博覧会（EXPO'70）会場として造成され、パビリオンや各種施設の建築が行なわれた跡地であって、そこを再造成して植栽が行なわれ、西暦2000年に「自立した」森林とする目標がかかげられている。しかし、Ⅰ期工事から既に10年を経過した現在、かなり緑は濃くなったものの、全般的にみて、樹木生育に問題がないわけではない。むしろ不成績地も多く、その主たる原因は劣悪な樹木生育基盤にあるとみられる。ここではその樹木生育基盤の不良要因を抽出し、診断法を検討する。このような大規模な緑地造成の試みは多くないので、こうした記録は今後増加するであろう大規模な土地造成をともしなう緑化事業のためにも意義深いと考える。

最初に緑化手法と樹木生育状態を把握し、つぎに基盤の土壌条件と樹木生育の関連をとりあげ、さらに表層の地下水位について検討し、最後にこれらを総括する。

3-1 万国博記念公園の緑化手法と樹木生育状態

対象地の基本的な緑化手法は万国博記念協会より高山英華・東大名誉教授指導のもとで都市計画設計研究所に委託されて立案され、その後造園の基本設計は吉村元男・環境事業計画研究所に委託されて立案され、高橋理喜男・大阪府立大教授をはじめとする委員会で検討された¹⁻³⁾。

その緑化の考え方は通常の造園植栽とも、造林とも異なり、人為的に自然性の高い森林を造成することを重要なテーマとしている。ここでは次節に述べる土壌条件との関連をみるための資料としてその緑化手法と現況の概要を把握し、樹木生育状況のランクづけを行なった。

(1) 対象地の概況。

万国博記念公園は大阪府吹田市の千里丘陵に位置し、標高は約40～61m程度で、気候的には暖温帯のいわゆる照葉樹林帯に属するとみられる。

地質は大阪層群に属し、砂質のところもあるが、多くは細粒質で、表層は明るい黄褐色を呈するところが多いが、池工事などの掘削の際にはいわゆる青粘土が下層にみられる場合も多く、排水不良を示している。

EXPO'70の造成以前はほとんどモウソウチク林で、一部田畑があった。万国博の際に平坦にちかい土地の造成と舗装や各種施設の建設が行なわれ、対象地で原地形をとどめているところは全くない。その後ほとんどのパビリオンの取りこわしと再造成が行なわれ、Tab.3.1に示すように年度を追って整備された。対象としたのは日本庭園を除く自然文化園地区で、その最も外側に外周道路があり、それより内側に向って徐々に盛土厚が大きくなり、園内での外側環状道路付近で最も高く、それより中心部に向って低くなるスリバチ状地形となっている。盛土厚の大きいところでは建築や舗装の廃材が下層に、その上に土砂が盛られた。Ⅰ工区では盛土材としてマサ土が用いられ、樹林を意図したところでは少ないところで60cm、多いところでも少なくとも1m以上盛土されている。Ⅱ、Ⅲ工区の多くの部分では大阪層群の現地土もしくは搬入土で造成されているようである。

植栽にあたっては土壌改良材としてバーク堆肥や牛ふんおがくず堆肥が施用されたが、量的には十分でなかったようである。また、植栽はかならずしも適期に行なわれたわけではなく、活着率がたいへん低い樹種や地区もあったようである。

(2) 設計意図と現況

対象地の緑化手法が通常の造園植栽と異なる特徴として、以下のような諸点があげられる。(イ)単木ではなく、樹林を単位とする設計がされているところが多いこと、(ロ)郷土樹種が多く用いられ、郷土植生をモチーフとして設計されている部分が多いこと、

(ハ)小苗や肥料木、先駆植生など、本来意図する以外の植物も導入されて、長期的に森林の成立を計る手法がとられたところも多いこと、などである。

設計樹林タイプは大きく3種あり、まず「密生林」は気候的な極相である照葉樹林をモチーフとし、「疎生林」はクヌギ・コナラなどの2次林のような明るい林分を意図している。「散開林」は芝生地の単木植栽や列植を意味し、これは樹林としては扱えない。また、「保護林」はⅠ、Ⅱ、Ⅲ工区の外周にそって配置されており、大気汚染や風に耐えて内部の照葉樹林を保護育成することを目的とする「密生林」であり、いわゆる海岸林をモチーフとしてウバメガシの高密度林分が意図されている。

Tab.3.1 Construction areas.

Construction	year	area
I	1972	13.3ha
II	1973	19.8
III	1974	31.4
IV 1	1976	12.8
IV 2	1977	10.8
V	1978.9	7.0
VI	1976	3.8
Total		98.6

しかし、このような意図はかならずしも成功せず、常緑広葉樹林を意図しつつも現況は混交林であったり、ギンドロ林となっているところや、樹冠がうっ閉せず、セイタカアワダチソウが繁茂しているところもみられる。

(2) 調査法

これらの状況を考慮し、典型的な樹林の種類とその生育の比較的良好なところと不良なところを網羅するように調査プロットを設定し、Fig.3.1 とTab.3.2 に示した。後者には樹林の一見した生育状況をNormal, Intermediate, Inferiorの3段階に区分して付したが、これは本調査地における主観的な区分であり、また、Normalといっても明らかな生育阻害、樹形の乱れがないという意味である。

樹木植栽時の状況については設計図書³⁾、管理用図面（万国博記念協会）にもとずいて、現況を参考に植栽樹種、植栽密度、平均樹高、平均直径などを推定した。

現在の状況としては、植生状況に応じて5m×5m, 10×15, 10×25, 20×20などの広さの調査区を設定し、樹高1m, 樹高の 1/10 の高さでの直径1cm 以上の個体について毎木調査を行なった。

また樹林が意図されている密生林、疎生林の調査区の代表的な樹木を選んで樹幹解析を行なった。

(3) 調査結果

樹幹解析の結果を樹高H、幹半径R、幹材積Vの生長についてFig.3.2 (1)～(5) に示す。ウバメガシの良好なものや活着後新たに萌芽した幹などではかなり生長のよいものもみられるが、全般的には植栽後に生長速度が低下した例が多いこと、特に樹高生長速度が徐々に低下して頭うちを呈しているものがほとんどであることが指摘できる。。現在の樹高はせいぜい 6～7mであり、すでにこのような現象を呈しているのは立地の不良性を示しているのであろう。

つぎに林分としての生育のようすをTab.3.3 に示す。植栽時の状況は設計図書にもとずいているので精度は高いとはいえず、規格上植栽時のデータはやや過少に、生長量はやや過大に評価されている恐れもあるが、全体の平均的な傾向はつかめるであろう。また1982年の調査では林分としての状況を把握するため、一定の大きさ以上の樹木をすべて対象としたので、下種や萌芽更新などで密度が増加している調査区もある。さらに同じ理由から、年間の平均樹高生長 ΔH 、平均直径生長 ΔD の値は平均樹高と平均直径の初期値と調査時の値から求めたため、植栽木が生長していても、新たに小さい個体が増加した時にはちいさな値や負の値となっている。また、ここでK（初期：K₀、1982年：K₁）としたのはいわゆる自然間引きの 3/2乗則の定数にあたり、林分としての生育状況、うっ閉状態の把握のために計算した。

林分としての生育の良否をできるだけ客観的に求めるために、これらの値を検討してみ

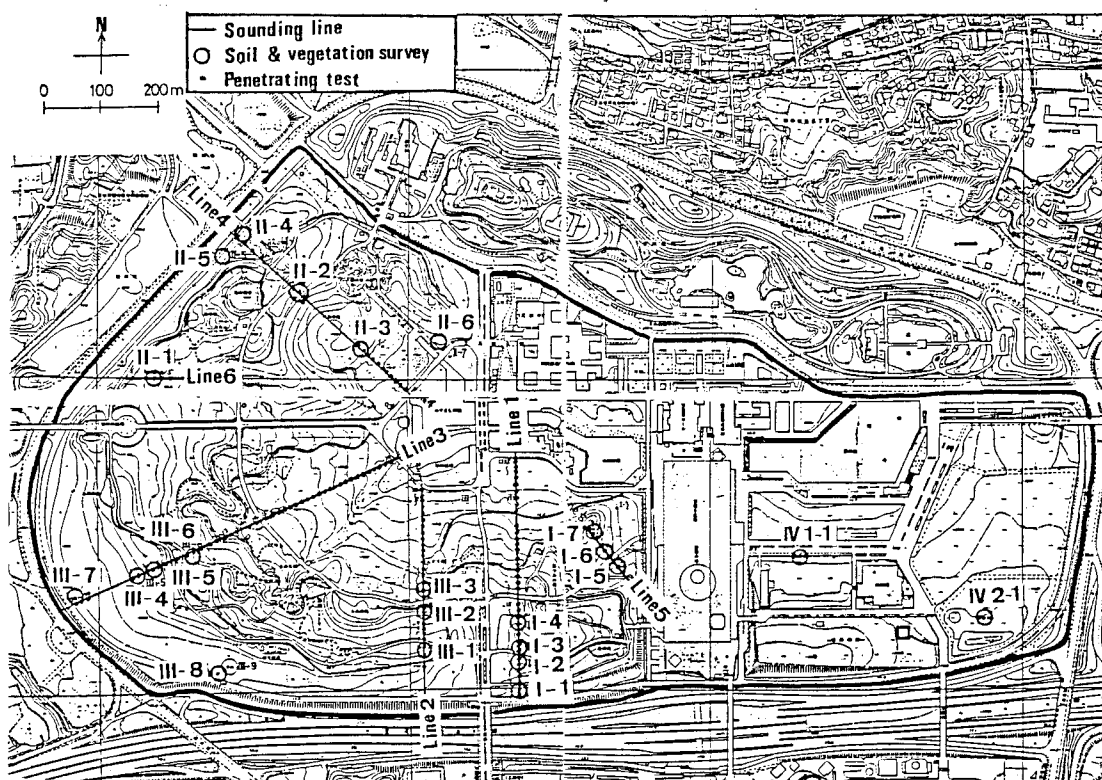


Fig.3.1 Surveyed area.

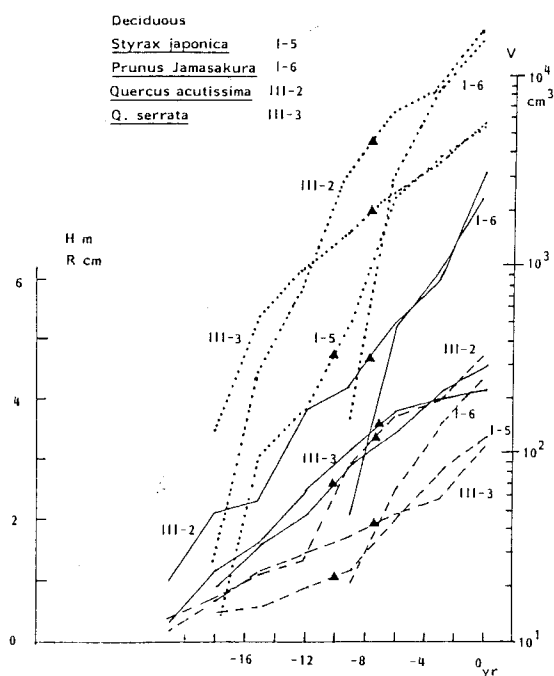


Fig.3.2
Growth of sample trees in each surveyed plot. (1)

— : Height
 --- : Stem Radius
 : Stem Volume
 ▲ : Planting
 (Stem of *Prunus j.* is sprouted after planting.)

図-2-(5) (I-6は植栽後の萌芽更新幹)

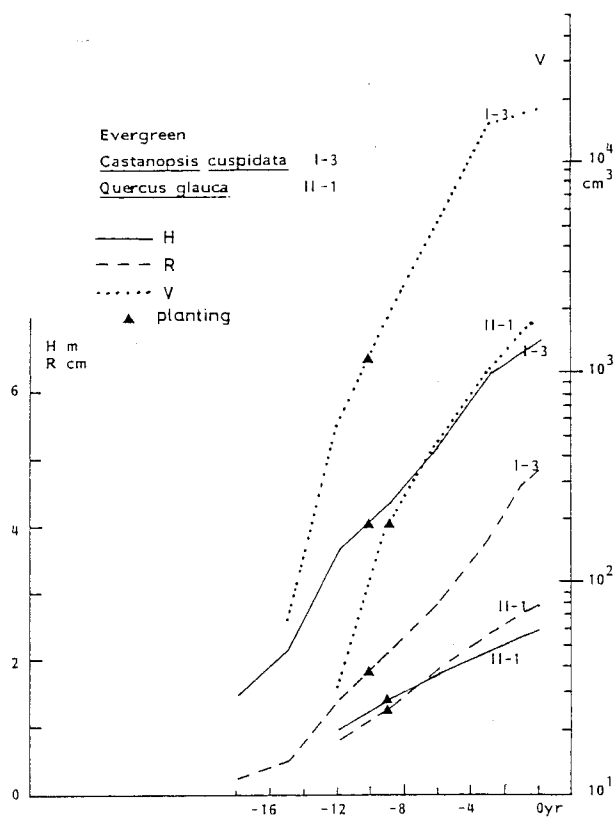


Fig. 3.2 (2)

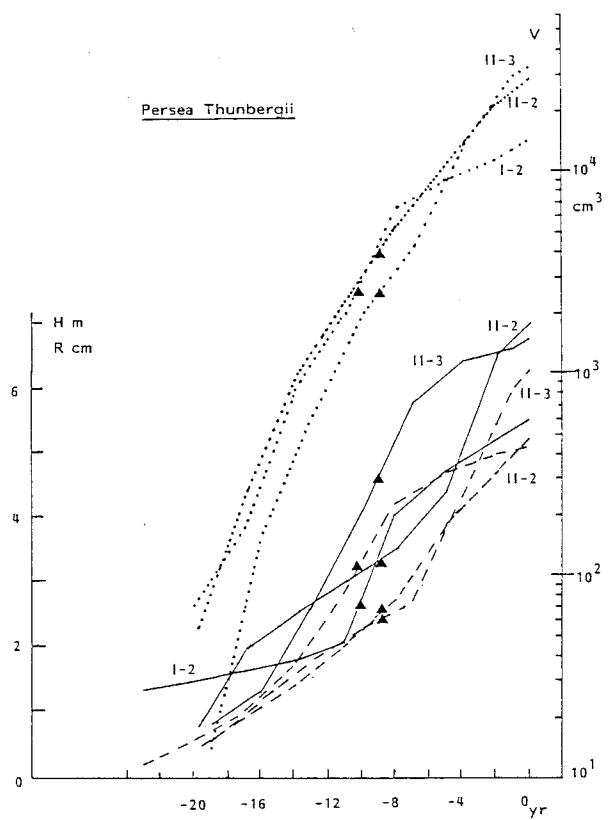


Fig. 3.2 (3)

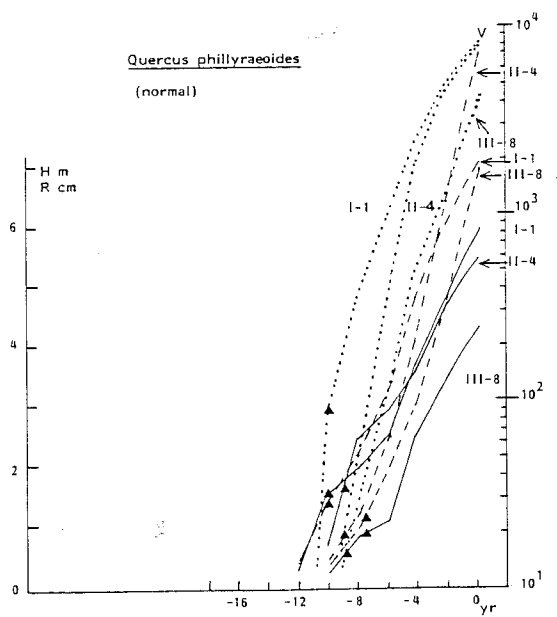


Fig. 3.2 (4)

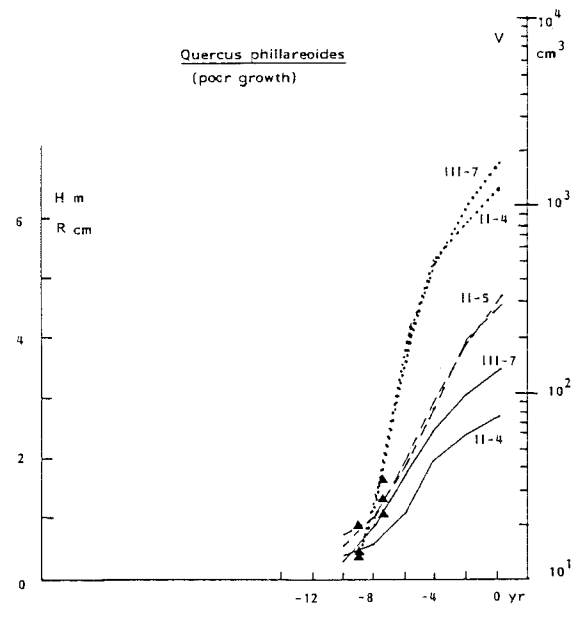


Fig. 3.2 (5)

Tab.3.2 List of surveyed stands and trees

Planned Forest Type		Size When Planted	Plot Area-No.	Present Condition of the Forest Vegetation (Main species)	Cover of Tree Canopies	Soil Surface	Tree Growth
Dense Forest	Protecting Forest	Small Nersery Trees	I - 1	E.B. (<u>Q.p.</u>)	Closed	L	Normal
			II - 4	E.B. (<u>Q.p.</u>)	Closed	L	Normal
			II - 5	E.B. (<u>Q.p.</u>)	Sparse	L	Inferior
			III - 7	E.B. (<u>Q.p.</u>)	Nearly Closed	L	Inferior
			III - 8	E.B. (<u>Q.p.</u>)	Closed	L	Normal
	Evergreen Broad Leaved Forest	Established Trees and Nersery Trees	I - 2	E.B. (<u>P.T.</u> , <u>C.c.</u>)	Closed	L	Normal
			I - 3	E.B. (<u>C.c.</u> , <u>Q.g.</u>)	Closed	L	Intermediate
			II - 2	D.B. (<u>Q.g.</u> , <u>C.c.</u> , <u>P.T.</u>)	Closed	L	Normal
			II - 3	E.B. (<u>Q.g.</u> , <u>C.c.</u> , <u>P.T.</u>)	Closed	L	Normal
			III - 1	E.B. (<u>Q.g.</u> , <u>P.T.</u>)	Nearly Closed	L	Intermediate
		Small Nersery Trees with Pioneer and Soil Improving Trees	I - 4	M(<u>Q.s.</u> , <u>Q.g.</u>)	Sparse	L, G	Intermediate
			II - 1	E.B. (<u>C.c.</u> , <u>Q.g.</u>)	Very Sparse	G	Inferior
			III - 4	D.B. (<u>P.a.</u>)	Closed	L	Normal
			III - 5	M(<u>Z.s.</u> , <u>Q.g.</u>)	Very Sparse	G	Inferior
			III - 6	M(<u>C.c.</u> , <u>Z.s.</u>)	Sparse	G, L	Inferior
Sparse Forest	Deciduous Broad Leaved Forest	Nersery Trees	I - 5	D.B. (<u>Q.s.</u> , <u>Q.a.</u> , <u>P.J.</u>)	Sparse	G, L	Intermediate
			I - 6	D.B. (<u>Q.s.</u> , <u>Q.a.</u> , <u>P.J.</u>)	Sparse	G, L	Intermediate
			III - 2	D.B. (<u>Q.s.</u> , <u>Q.a.</u> , <u>P.J.</u>)	Closed	L	Normal
			III - 3	D.B. (<u>Q.s.</u> , <u>Q.a.</u> , <u>P.J.</u>)	Very Sparse	<u>Zoisia</u>	Inferior
Single, Line and Small Group Planting		Established Trees or Nersery Trees	I - 7	<u>Prunus yedoensis</u>		<u>Zoisia</u>	Inferior
			II - 6	<u>Prunus yedoensis</u>		<u>Zoisia</u>	Normal
			IV 1 - 1	<u>Prunus yedoensis</u>		<u>Zoisia</u>	Normal
			IV 2 - 2	<u>Prunus yedoensis</u>		<u>Zoisia</u>	Inferior

E.B.:Evergreen Broad Leaved Trees, D.B.:Deciduous Broad Leaved Trees, L:Litter, G:Grass, Q.p.:Quercus phillareoides, P.T.:Persea Thunbergii, C.c.:Castanopsis cuspidata, Q.g.:Quercus grauca, Q.s.:Quercus serrata, P.a.:Populus alba, Z.s.:Zerkova serrata, M:Mixed Forest.

Tab.3.3 Estimation of initial condition and tree growth of each plot.

		Data When Planted *1							Data of 1982 *2						Growth and Coefficient of 3/2 Power Rule of each stand					
Plot - No.	Forest type	ρ_0 N/ha	H_0 m	D_0 cm	ΣBA_0 m ² /ha	V_0 cm ³	Y_0 m ³ /ha	ρ_1 N/ha	H_1 m	D_1 cm	ΣBA m ² /ha	V_1 cm ³	Y_1 m ³ /ha	ΔH / cm/year	ΔD / cm/year	ΔY / m ³ /ha/year	K_0 *3 m ³ ·(N/ha) ^{3/2}	K_1	Classifica- tion of ΔY	
I - 1	Q. p.	1972	6,700	1.3	2.6	3.6	230	1.5	5,000	4.10	8.4	27.8	7,700	38.4	28	0.58	3.69	130	2,710	A *4
- 2	E. B.	"	2,100	3.5	7.0	8.1	4,490	9.4	3,530	5.11	8.7	21.0	10,100	35.8	16	0.17	2.64	430	2,120	B
- 3	E. B.	"	1,800	3.5	7.0	6.9	4,490	8.1	2,000	4.50	8.7	11.8	8,800	17.7	10	0.17	0.96	340	790	D
- 4	H	"	1,800	2.8	5.6	4.4	2,300	4.1	1,720	5.90	10.1	13.9	15,800	27.1	31	0.45	2.30	180	1,120	C
- 5	D. B.	"	1,900	2.5	5.0	3.7	1,640	3.1	1,000	4.90	9.2	7.5	11,100	11.1	24	0.42	0.80	140	350	E
- 6	D. B.	"	1,900	2.5	5.0	3.7	1,640	3.1	1,075	6.22	10.8	9.8	18,900	20.3	37	0.58	1.72	140	670	C
II - 1	E. B.	1973	1,800	2.0	4.0	2.3	840	1.5	1,025	4.23	8.7	6.0	8,300	8.5	25	0.52	0.78	64	270	E
- 2	D. B.	"	1,800	2.7	5.4	4.1	2,060	3.7	2,250	5.42	8.3	12.2	9,800	22.0	30	0.32	2.03	160	1,050	C
- 3	D. B.	"	1,800	2.7	5.4	4.1	2,060	3.7	2,650	5.44	7.9	13.1	8,900	23.7	30	0.28	2.22	160	1,220	C
- 4	Q. p.	"	10,000	1.0	2.0	3.1	100	1.0	3,200	4.32	5.9	8.7	3,900	12.5	37	0.43	1.28	100	710	D
- 5	Q. p.	"	10,000	1.0	2.0	3.1	100	1.0	4,400	2.57	4.1	5.9	1,100	5.0	17	0.23	0.44	100	330	E
III - 1	E. B.	1974, 75	1,200	3.3	6.6	4.1	3,760	4.5	5,920	4.69	4.9	11.3	3,000	17.6	19	-0.29	1.75	160	1,360	C
- 2	D. B.	"	1,200	3.7	7.4	5.2	5,300	6.4	1,100	6.90	12.3	13.0	27,100	29.8	43	0.65	3.12	220	990	B
- 3	D. B.	"	650	3.7	7.4	2.8	5,300	3.4	650	5.10	10.3	5.4	14,100	9.2	19	0.39	0.77	88	230	E
- 4	P. a.	"	1,200	3.0	6.0	3.4	2,830	3.4	4,400	5.62	5.7	11.1	4,600	20.3	35	-0.04	2.25	120	1,350	C
- 5	H	"	6,600	1.1	2.2	2.6	140	1.2	1,650	4.02	7.6	7.4	6,100	10.0	39	0.72	1.17	75	410	D
- 6	H	"	1,600	2.5	5.0	3.1	1,640	2.6	1,550	4.33	8.7	9.2	8,600	13.3	24	0.49	1.43	100	530	D
- 7	Q. p.	"	22,800	0.6	1.2	2.6	20	0.52	15,600	2.96	3.3	13.4	840	13.2	31	0.28	1.69	78	1,640	C
- 8	Q. p.	"	22,800	0.6	1.2	2.6	20	0.52	15,200	3.85	4.3	22.0	1,900	28.3	43	0.41	3.70	78	3,490	A

*1 Tree species *2 $D > 1$ cm, $H > 1$ m Trees *3 $K_0 = V_0 \cdot \rho_0^{3/2}$, $K_1 = V_1 \cdot \rho_1^{3/2}$

*4 A : $\Delta Y \geq 3.2$, B : $3.2 \sim 2.4$, C : $2.4 \sim 1.6$, D : $1.6 \sim 0.8$, E : $0.8 >$

る。

まず、 ΔH と ΔD は先に述べた理由から、かならずしも生育の良否を反映していない。

つぎに、林分の状況を立木密度 ρ と平均単木幹材積 V の関係で示したのがFig.3.3である。一定条件下の森林では、 $3/2$ 乗則が成立することが判明しており⁴⁾、図中には $V \cdot \rho^{3/2} = 3000 \text{ m}^3 \cdot (\text{N/ha})^{3/2}$ の線を示しておいた。なお、 $3/2$ 乗則とは平均個体重 W と上限密度 ρ_{\max} のあいだに

$$W \cdot \rho_{\max}^{\alpha} = K$$

の関係がなりたち、 α がほぼ $3/2$ に、 K が定数となる現象を示したもので、 $W \propto V$ と考えられ、 K が大きいほど閉度が高いと考えられる。

図によれば、目視による大まかな生育区分で NormalのものがIntermediateやInferiorより $V \cdot \rho^{3/2}$ (K_1) が大きい傾向が認められる。つまり、植栽時の値 K_0 はすべての調査区で小さく (Tab.3.3) 林分としては疎であったが、その後、生育の良好な区では林冠が閉鎖し、不良な区ではいまだにうっ閉していない状況を反映していると考えられる。また、生育良好なウバメガシ林ではすでに下枝の枯れ上りや被圧木の枯損が観察されており、林冠の閉鎖の開始は $K=3000$ までに生じ、上限密度はこれより大きいと思われる。

Fig.3.4 に K とさきに推定した ΔY との関係を示す。両者には明らかに正の相関がみられ、生長のよいものほど閉度が高くなっており、どちらも最初の目視による大まかな生育区分ともほぼ対応してNormalで大きく、Inferiorで小さくなっており、どちらも生育状況の指標値として用いることが可能と結論できる。さきのTab.3.3 には ΔY で5段階に生育状況をクラス分けしておいた。

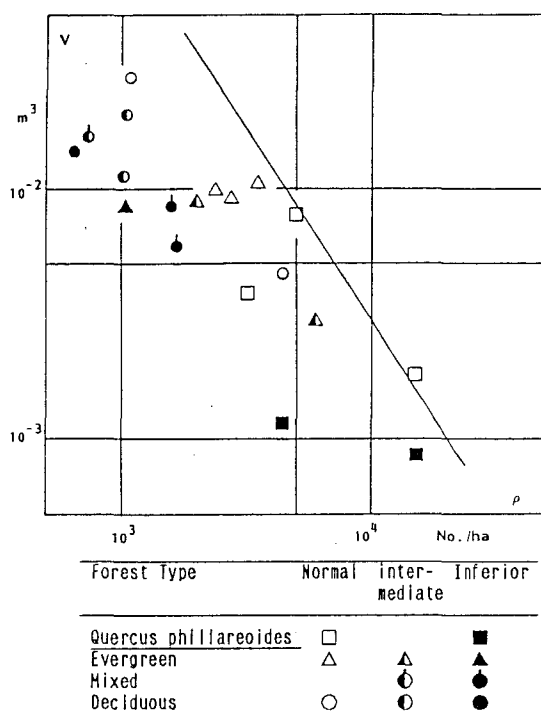


Fig.3.3 ρ (Density) — V (Average Single tree stem Volume) relationship of surveyed plots.

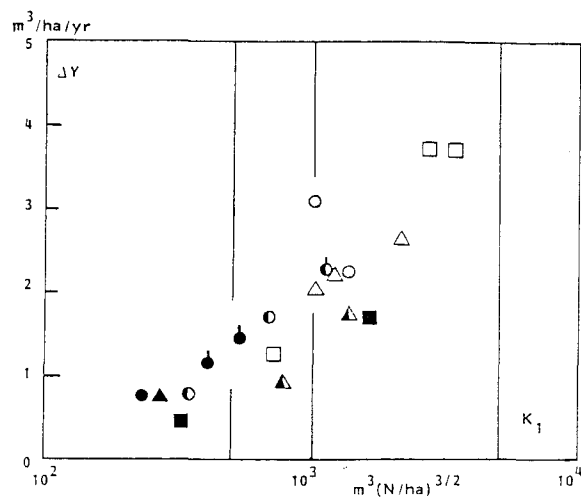


Fig.3.4 $K(V\rho^{3/2}) - \Delta Y$ (Total stem volume increment) relationship of surveyed plots.

3-2 土壌諸性質と樹木生育の関連

本節では調査地の樹木生育基盤について、その表層土の深さと土壌諸性質およびそれらと前節で述べた樹木の生育との関連について取りあげ、生育基盤の不良要因の抽出を行なう。

(1) 調査法

本調査地は面積が広いため、前節に述べた調査プロットの設定に先立って小型貫入試験器による概査を前節のFig.3.1に示したように、数本の調査ラインにそってほぼ10m間隔で行なった。

土壌の性質については毎木調査を行なった調査プロットおよび「散開林」の調査区で表層(0-5cm)、中層(20-25cm)、下層(45-50cm)の3層の土壌について以下の項目について分析を行なった。

化学性はpH(生土:水=1:2.5,ガラス電極法),塩基置換容量-CEC(Peech法, NH_4^+ の定量はフェノールクロラミンT吸光光度法),交換性陽イオン-ex. Na, K, Mg, Ca(原子吸光法),塩基飽和度-%BS(CECに対するex. Na, K, Mg, Caの割合)全炭素-T-C,全チッ素-T-N(CNコーダー法)ただしpHは生土,他は風乾細土を分析の対象とした。物理性は容積重(原土-Vw1,細土-Vw2),全孔隙量(原土-P1,細土-P2),孔隙組成(細孔隙-fP,粗孔隙-cP),最大含水量(原土容積基準-Wmax1,細土容積基準-Wmax2),最小容気量(原土容積基準-Amin1,細土容積基準-Amin2),3相分布(固相-S,液相-W,気相-A),以上は常法により,また石礫含有率-Gは原土(乾土)に対する重量比を,飽和透水係数-Kは100cc サンプラーの試料については変水位法で,400cc サンプラー試料は真下式試験装置で測定しKに換算した。なお貫入試験と土壌の採取は1982年7月に行なった。

(2) 調査結果と考察

A. 表層土の深さ

樹木生育基盤としての土壌条件を,根系の生育に有効な土壌の深さとその性質に分けて考え,小型貫入試験器によって前者を把握しようとした。Fig.3.5に調査ラインにそった表層土の深さを N_4 値で分級して示した。1,2章で述べた測定例や褐色森林土における例⁵⁾を参考に N_4 値10以下(やわらかい,Soft),11~20(ふつう,Average),21~50(かたい,Hard),51以上(たいへんかたい,Very hard)としてその値になるまでの土壌の深さを土地の断面形とともに表現した。ただし,標高の縮尺は水平距離の10倍,土壌の深さはさらにその10倍,水平距離の100倍で示してある。調査地は全域が盛土ないし攪乱を受けているが,造成時に重機によって締固められ,固結しているところもあると思われる。

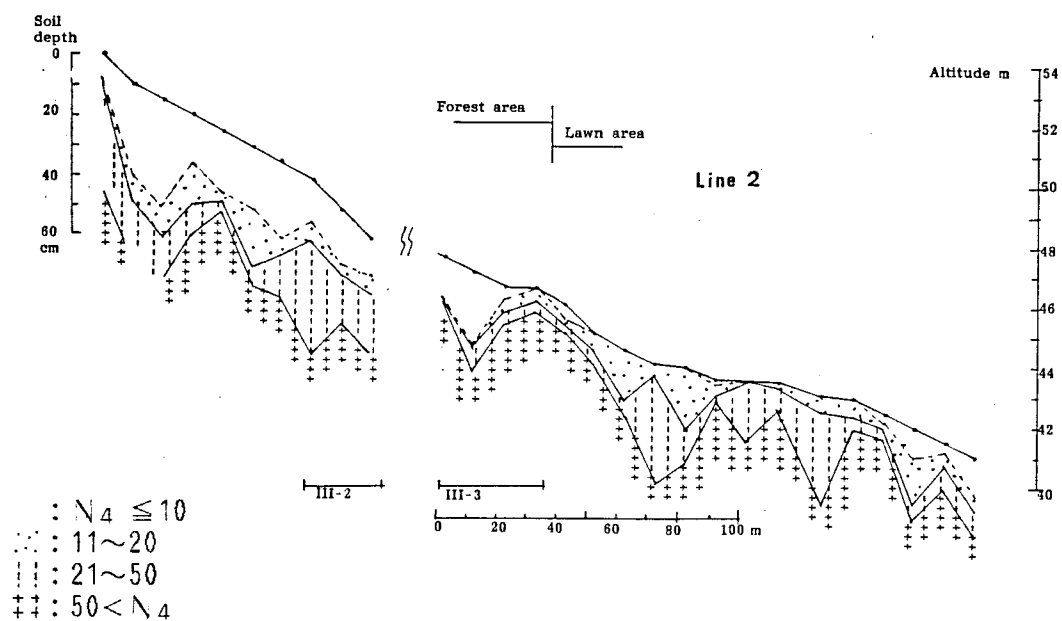
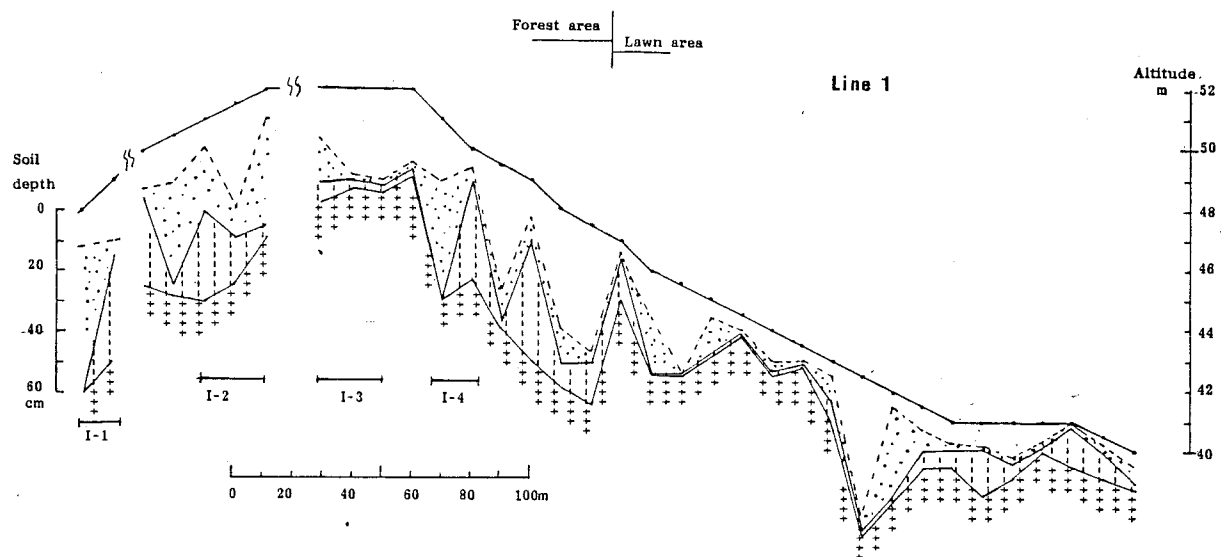


Fig.3.5 Results of soil depth sounding by the corn penetrometer.(1)

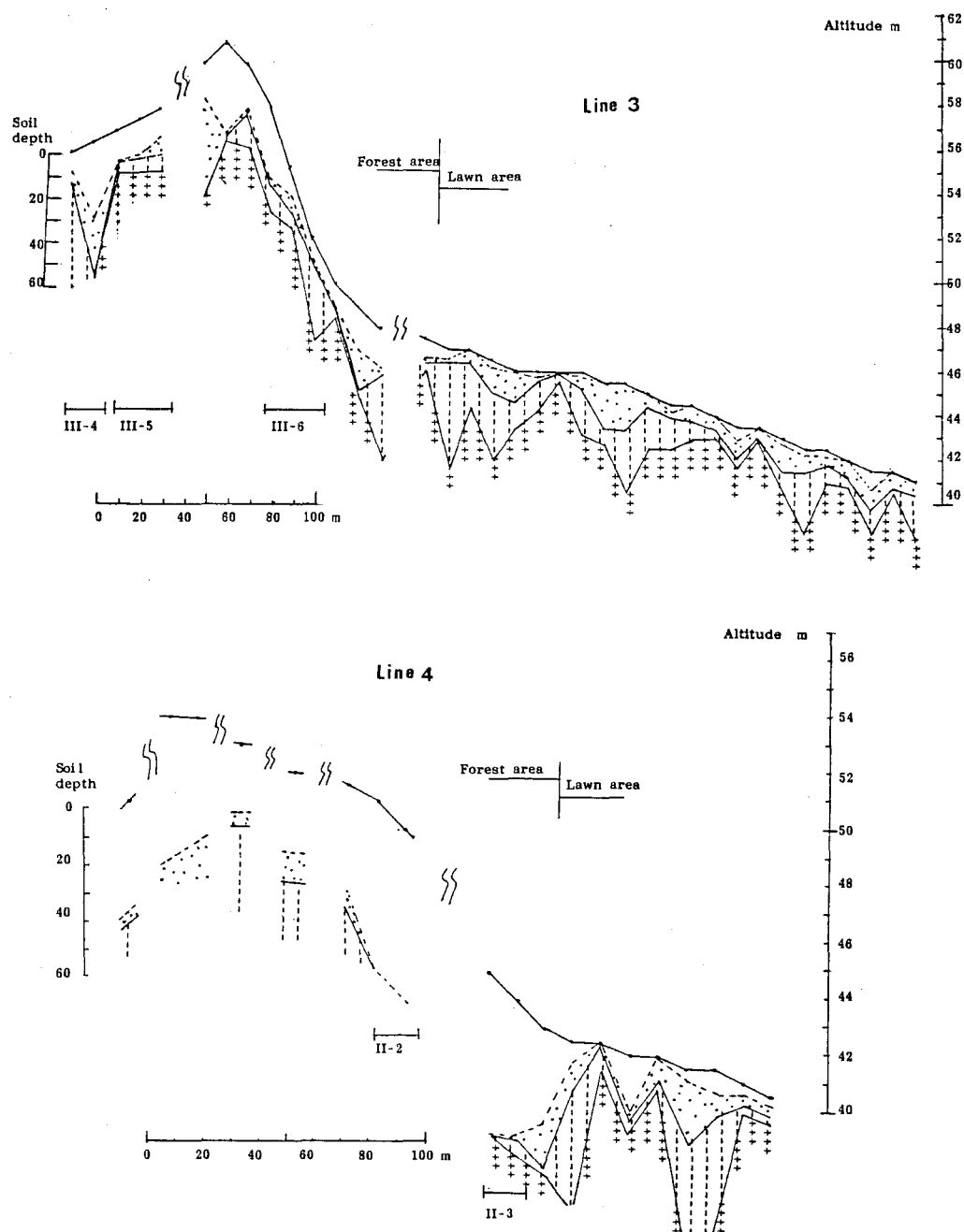


Fig.3.5 (2)

全般的に60cm以上の N_4 値20以下のかたかない土層はほとんどみられないこと、となりあった地点でも土層の深さに差が大きいこともまれでなく、造成時の重機走行状況のわずかな差、不陸などが微妙に締固まり状況に影響しているようである。

この N_4 値測定結果を生起確率でみたのがFig.3.6 である。これは正規確率紙であり横軸に N_4 値の対数をとってある。 N_4 値を5ごとに累加生起確率をプロットするとほぼ直線上にならび、 N_4 値が対数正規型の分布をとることが分る。したがって、やわらかい表層からかたい固結層まで表現するには対数の方が好ましいことが分る。

つぎに平均的な表層土の深さをみるために工区別に N_4 値の垂直分布をその対数変換してもとめた平均値と標準偏差で示したのがFig.3.7(1)~(3) である。盛土の薄い芝生地と厚い樹林地を分けて示してある。

これらによれば、芝生地ではいずれも樹林地よりかたく、薄い盛土が造成時の重機および利用による踏圧をうけて締固まっているのであろう。加踏圧試験(4章)によれば、踏圧を加えると表層の方が下層より固結化するのであるが、ここではすべて下層ほどかたくなっている。この傾向はマサ盛土のⅠ工区と大坂層群を母材とすると思われるⅡ、Ⅲ工区とも同様である。これらのなかではⅠ工区が最もやわらかく、ついでⅡ工区で、Ⅲ工区では最表層でも20を超える。

一方、樹林地では表層10cm程度までのかたさについては工区による差はないが、Ⅰ工区では下層ほどかたく、30~50cmで N_4 値が20ないし30をこえる。Ⅱ工区では下層も比較的やわらかいところが多いが、Ⅲ工区ではかたさの変動が大きく、16cm以下で20を超え、ち密なところが多いのが分る。1章でのべた林地の例では表層20~24cmまでの N_4 は10未満であり、調査地全体としてもたいへんち密であることがわかる。

かりに根系伸長を大きくさまたげない N_4 値を20以下と考えれば、Ⅰ工区でほぼ30cm、Ⅱ工区で40cm、Ⅲ工区で15cm程度の土層厚となり、盛土厚にかかわらず、非常に薄い土層しか樹木にとって有効でないと思われる。

B. 土層の諸性質

調査プロットの平均的な土層の性質をTab.3.4 に掲げる。有機物集積にともなう土層化作用がほとんど進行していないと思われる中・下層のみの値も示したが、これは植栽時の初期条件を反映していると考えたからである。これによると1章で述べた事例と比較してみても、全般的にたいへんち密で腐植に乏しい部類といえよう。

これら土層諸性質は相互に関係の深いものも多い。Fig.3.8 に全層のデータを用いて調べた相関関係の主要なものを示す。 S 、 V_w 、 P に強い相関があるが、真比重が一定なら計算上相互に1次の比例関係があることになり、また真比重の変動は一般に小さくなく、かつ有機物が増加するにしたがって真比重とち密度の減少が生じる(1-1参照)。 S 、 V_w 、 P の3者はち密度ないし孔隙の多さを示す指標として他と共通の相関を持っている。原土基準と細土基準の値は V_w 、 A_{min} 、 W_{max} との相関関係に大差はないが、 V_w は細土基準の方が c_P と相関が高いのは土層構造とち密度の関連を考える上で興味深い。

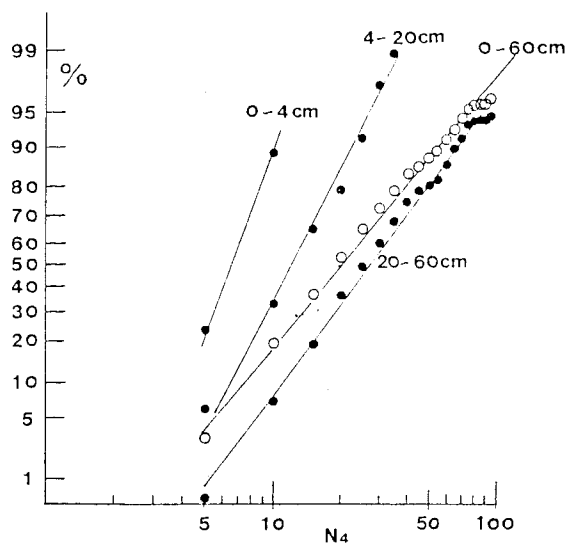


Fig.3.6 Probability percent accumulation of N_4 value. (Area-I)

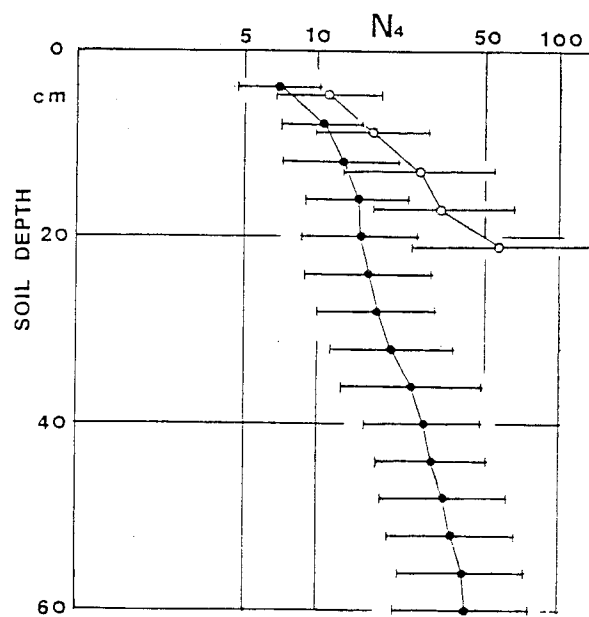


Fig.3.7 Vertical distribution of N_4
 ○:Lawn area, ●:Forest area.
 (1)Area - I (Masa soil mounding)

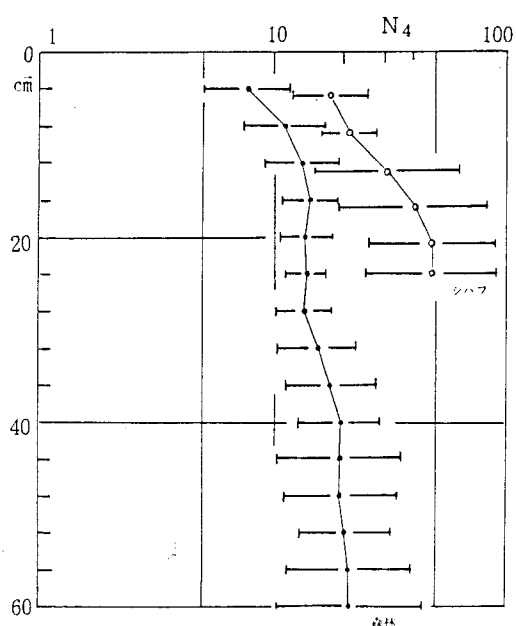


Fig.3.7 (2) Area-II

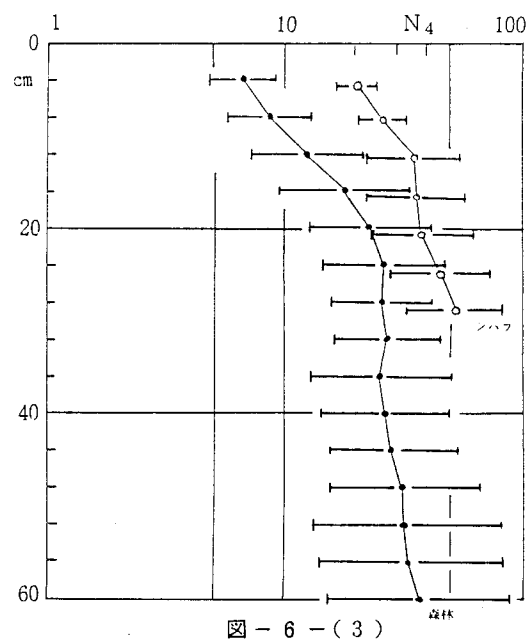


Fig.3.7 (2) Area-III

Tab.3.4 Average soil properties.

Physical Properties	Middle and Sub Layers				Chemical Properties	Middle and Sub Layers			
	All Layers	1)	2)	SD		All Layers	1)	2)	SD
V _{w1} g/cm	1.380	0.247	1.510	0.163	pH(H ₂ O)	5.78	0.97	5.88	1.10
V _{w2} "	1.316	0.249	1.450	0.179	CEC me/100g	10.4	4.0	9.7	3.7
P ₁ %	46.5	8.3	42.4	6.0	Ex. exNa "	0.06	0.06	0.08	0.07
P ₂ "	49.4	9.0	44.9	6.9	Bases exK "	0.19	0.10	0.14	0.08
fP "	22.4	7.9	22.0	7.0	exMg "	1.23	0.59	1.22	0.62
cP "	24.1	9.8	20.4	8.2	exCa "	6.20	2.81	6.24	3.14
W _{max1} "	39.8	8.2	35.7	5.7	%BS %	83.4	47.4	90.2	54.8
W _{max2} "	42.2	8.8	37.7	5.9	T-C "	0.65	0.69	0.25	0.23
A _{min1} "	7.0	4.5	6.8	4.0	T-N "	0.035	0.056	0.011	0.008
A _{min2} "	7.4	4.9	7.3	4.5					
S "	53.4	8.3	57.5	6.0					
W "	27.8	8.6	26.4	6.6					
A "	18.7	10.0	16.0	7.9					
G "	10.0	8.4	8.9	8.5					
K cm/sec	0.0071	0.013	0.0015	0.00325					

V_w: Volume Weight, P: Porosity, fP: Fine Pore, cP: Coarse Pore, W_{max}: Maximum Water Holding Capacity, A_{min}: Minimum Air Capacity, S: Solid, W: Water, A: Air, G: Gravel percent by weight, K: Saturated Permeability, %BS: Percent Base Saturation, T-C: Total Carbon Percent of Fine Soil, T-N: Total Nitrogen Percent of Fine Soil, 1: Based on Fine Soil and Gravel, 2: Based on Fine Soil. 1) 74 samples, 2) 48 samples.

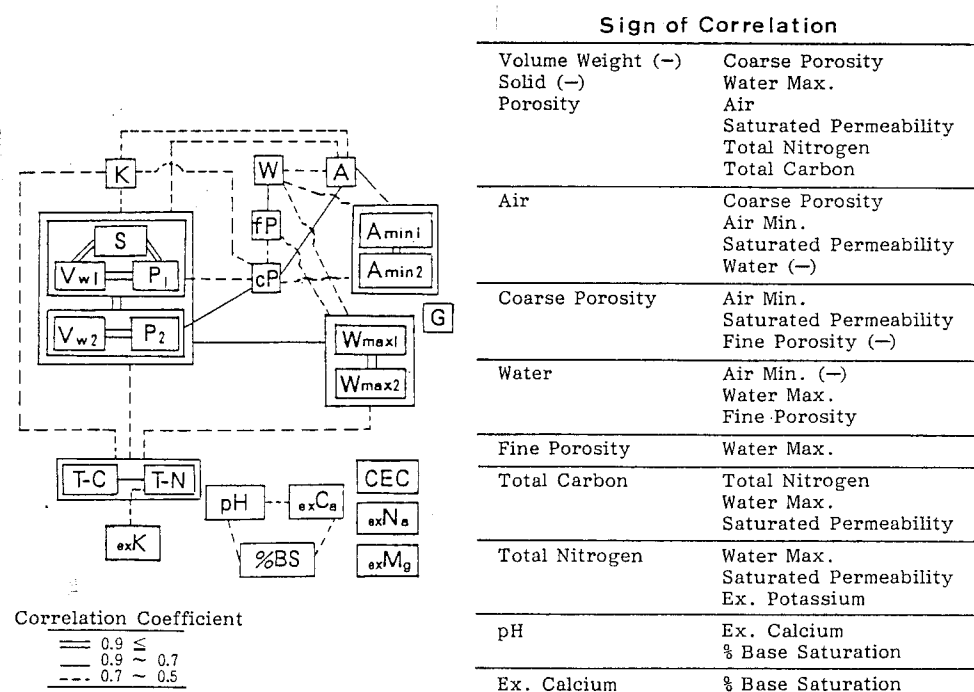


Fig.3.8 Correlation of surveyed soil properties.

c PとA, f PとWの相関は土壌の乾湿度が孔隙組成と深く関わっていることを示すと思われる。つまり, c Pが大きくf Pの小さいもので乾燥の, そうでないものに湿潤の傾向がある。c P-f Pの孔隙組成やA_{min}-W_{max}の関係は乾湿度と関連が深い。

化学性についてはT-CとT-Nは物理性と相関がみられ, 有機物の集積にともなう土壌の発達を示すと考えられる。ex. Ca, %BS, pHは相互に正の相関があり, これは排水性を示し, また%BSが全体に一般の褐色森林土よりはるかに高いことは調査地の排水が不良であることを示している。一方, G, CEC, ex. Na, Mgは他との相関が小さい。これら多くの要因を少数の因子に要約するため, 因子分析を行なった。計算はSASパッケージにより, 固有値1以上の因子を対象とした。Tab.3.5に固有値, 説明率およびバリマックス回転後の因子パターンを示す。

四角で囲んだ負荷量の大きい要因から, 各因子の意味はつぎのように理解される。

第1因子——孔隙の多さ(ち密度)

第2因子——粗大な孔隙, 乾湿度

第3因子—— ex. Ca集積度

第4因子——隙含有率(マサ土と大阪層群の別)

第5因子——腐植集積度

第6因子——CEC(母材の粘土鉱物)

ふたつの因子を軸として各土壌を位置づけたグラフをいくつか掲げる。

Fig.3.9によれば, 表層で孔隙が多く下層で少ない。また表層ほど乾湿の変動が大きい。I工区下層は他より孔隙が多く, マサ土(粗粒質)と大阪層群(細粒質)のちがいがあらわれているのだろう。

Fig.3.10によれば ex. Ca集積度はII, III工区の下層において変動が激しく, I工区では平均的なところに位置する。下層の排水のよいところではこの値が小さく, そうでないところで大きいと思われ, さらに極度に大きいところでは下層にコンクリートの廃材が埋められている恐れもある。

Fig.3.11によれば腐植集積度と孔隙の多さで表層土と中・下層土が大きく分離し, 腐植の集積にともなって, 表層土の孔隙が増加しているのがわかる。下層土ではマサ土で特に腐植が少なく, 大阪層群ではそれはどでもない。

Fig.3.12によれば, 隙含有率とCECの軸では工区ごとに分布範囲が明らかに異なる。なお図には示していないが, 層位ではまったく分離しない。CECは母材の粘土鉱物の種類と含有率を反映し, 隙含有率はマサ土のような粗粒質土とそうでない細粒質土の差を反映すると考えられる。マサ土地区はCECが中ないし大で隙が多く, II工区の大阪層群では隙が少なく, III, IV工区ではCECが中ないし小で隙含有率の変動大である。つまりII工区盛土材の産地または地層はIII, IV工区と異なるようである。

以上の因子分析の結果は土壌化作用の進んだ表層土を含んでいるため, 初期条件がもたらした樹木生育への影響と関連づけるには適当でない面もあるので, 中・下層のみで同様

Tab.3.5 Results of factor analysis of soil properties.

	1	2	3	4	5	6	7	8
EIGENVALUES	9.355918	4.619886	2.395163	1.458453	1.317016	1.246727	0.773373	0.649774
PORTION	0.390	0.192	0.100	0.061	0.055	0.052	0.032	0.027
CUM PORTION	0.390	0.582	0.682	0.743	0.798	0.850	0.882	0.909

	9	10	11	12	13	14	15	16
EIGENVALUES	0.523246	0.433160	0.409220	0.311922	0.253341	0.127006	0.091177	0.014508
PORTION	0.022	0.018	0.017	0.013	0.011	0.005	0.004	0.001
CUM PORTION	0.931	0.949	0.966	0.979	0.989	0.995	0.999	0.999

	17	18	19	20	21	22	23	24
EIGENVALUES	0.010502	0.005257	0.001646	0.001062	0.000917	0.000707	0.000016	0.000003
PORTION	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CUM PORTION	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

6 FACTORS WILL BE RETAINED.

ROTATION METHOD: VARIMAX

ROTATED FACTOR PATTERN

	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	FACTOR6
S1 PH	-0.15941	0.16241	0.72858	-0.00167	0.02143	-0.09855
S2 CEC	0.24049	0.05285	-0.09817	0.14698	0.06053	0.80375
S3 ex.Na	-0.20137	-0.16285	0.58169	-0.15058	-0.25726	0.32590
S4 ex.K	0.27342	-0.05440	-0.03760	-0.21999	0.71772	-0.12497
S5 ex.Mg	0.05473	-0.11666	0.11509	-0.51467	0.17359	0.58807
S6 ex.Ca	0.00137	0.06791	0.89407	0.16922	0.06960	0.21262
S7 %B	-0.10242	0.00023	0.82921	0.00184	0.02473	-0.38772
S8 T-C	0.46125	-0.02196	0.12225	0.05162	0.72496	0.19828
S9 T-N	0.46604	0.05292	-0.04331	0.11765	0.74006	0.16466
P1 Vw 1	-0.92650	-0.20390	0.12367	0.05004	-0.25450	-0.06035
P2 2	-0.91546	-0.24070	0.04136	-0.15772	-0.23272	-0.08457
P3 P 1	0.93216	0.23817	-0.09942	-0.08741	0.21114	0.06924
P4 2	0.93176	0.24970	-0.05106	0.14891	0.17428	0.09301
P5 fP	0.41918	-0.56283	0.05549	-0.60396	-0.10150	0.10568
P6 cP	0.46112	-0.65246	-0.12528	0.41514	0.26288	-0.02897
P7 Wmax 1	0.86908	-0.31241	-0.18249	-0.04815	0.27720	0.07205
P8 2	0.87311	-0.30586	-0.14232	0.16092	0.25707	0.09089
P9 Amin 1	0.18181	0.93828	0.13251	-0.03800	-0.11068	-0.00322
P10 2	0.17975	0.93112	0.14271	0.01920	-0.13685	0.00490
P11 Solid	-0.93212	-0.23649	0.09790	0.09043	-0.20896	-0.07252
P12 Water	0.44919	-0.74429	-0.01600	-0.30989	-0.08533	0.03788
P13 Air	0.37902	0.80855	-0.06605	0.18759	0.24016	0.02394
P14 Gr.	0.19009	0.12521	0.15167	0.86191	-0.09779	0.10790
P15 K	0.49038	0.37726	-0.02887	-0.09841	0.47971	0.12736

VARIANCE EXPLAINED BY EACH FACTOR

FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	FACTOR6
7.537772	4.401362	2.575058	1.919001	2.489772	1.470198

Fig.3.9 Distrirution of soils by Factor1 and Factor2.
(Each figure means Area No.,but 5 means lawn area.)
○:Surface(0-5cm), □:Sub(50-55cm), Others:Middle(20-25cm)

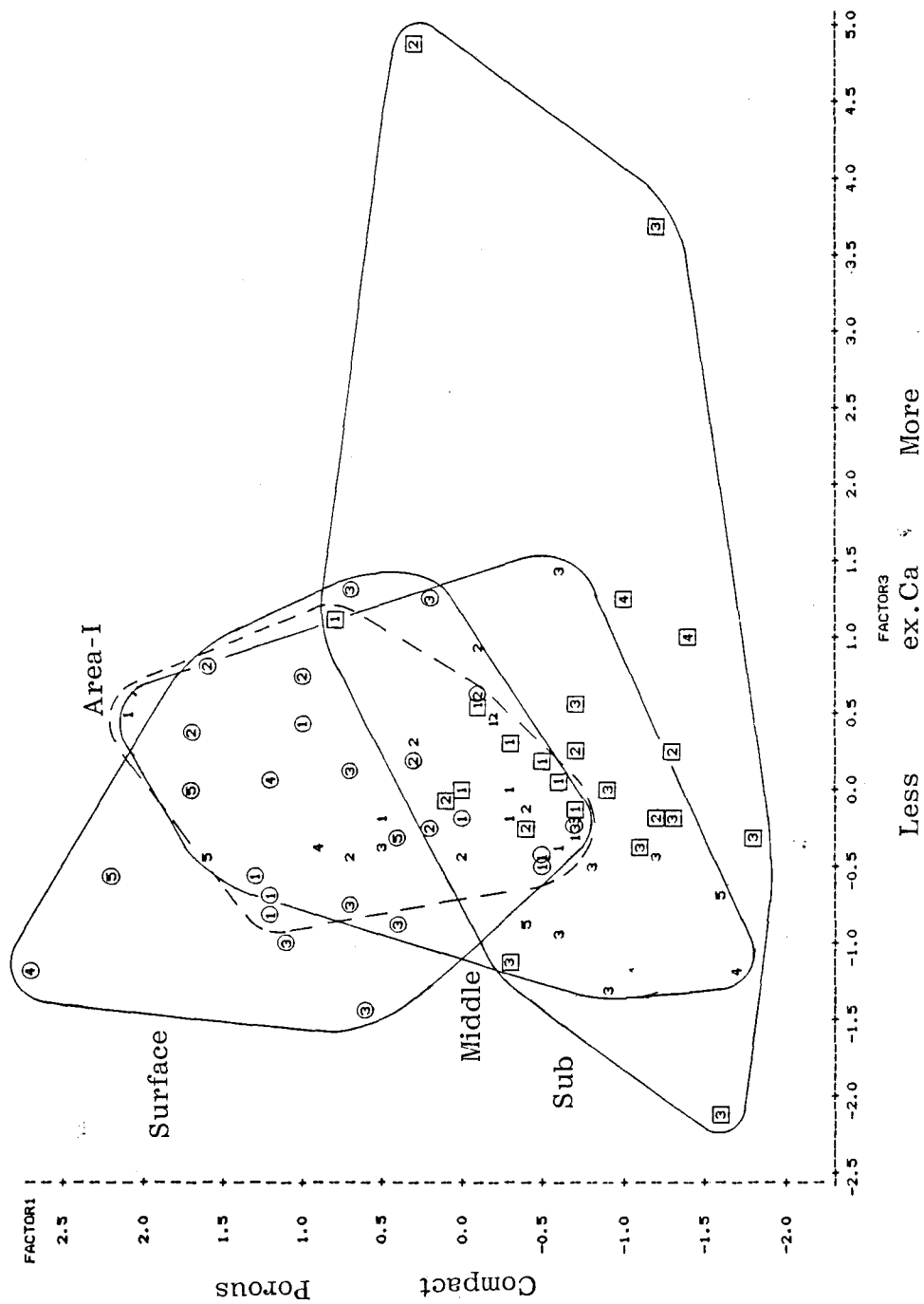


Fig.3.10 Distribution of soils by Factor1 and Factor3.

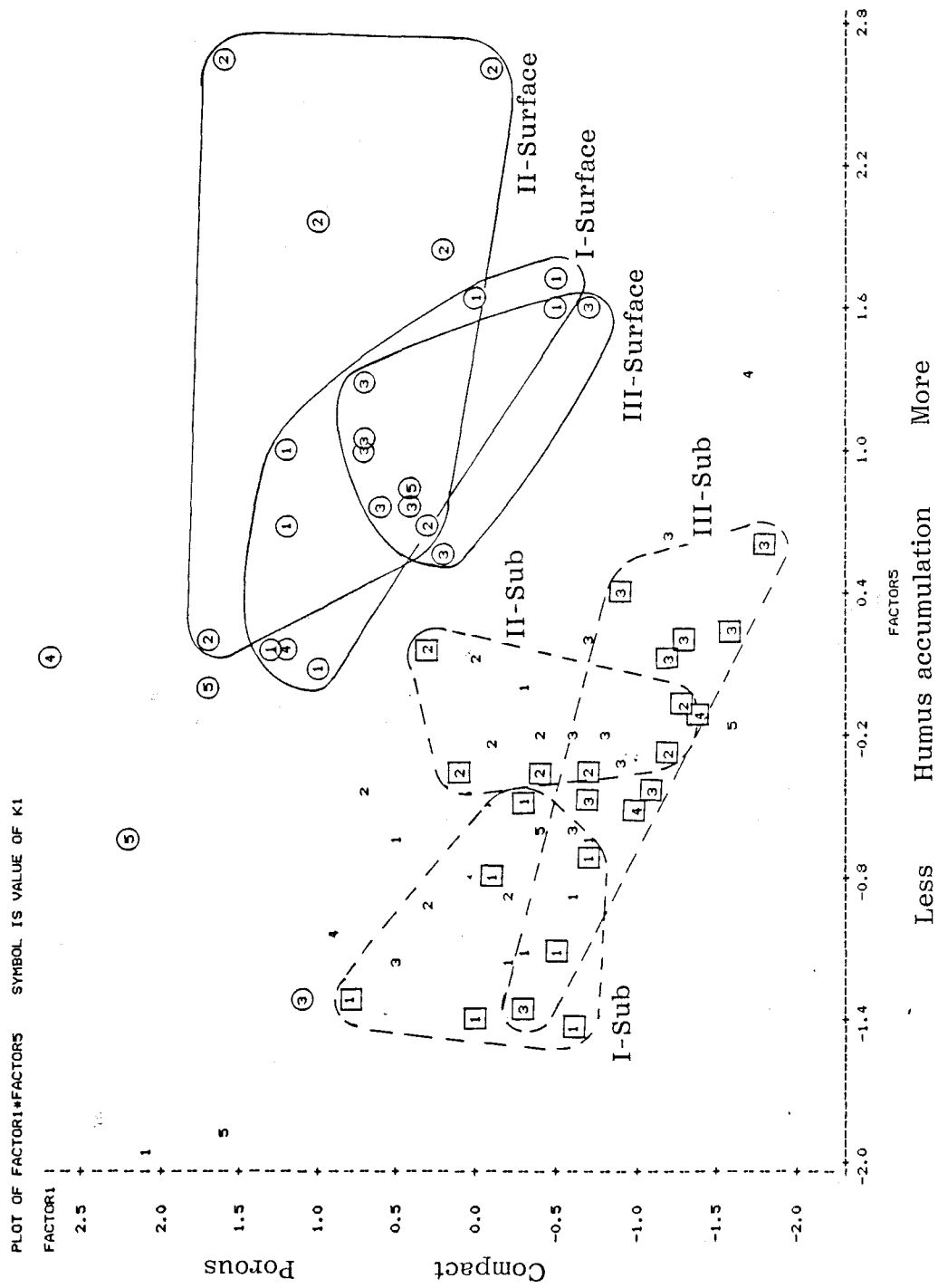


Fig.3.11 Distribution of soils by Factor1 and Factor5.

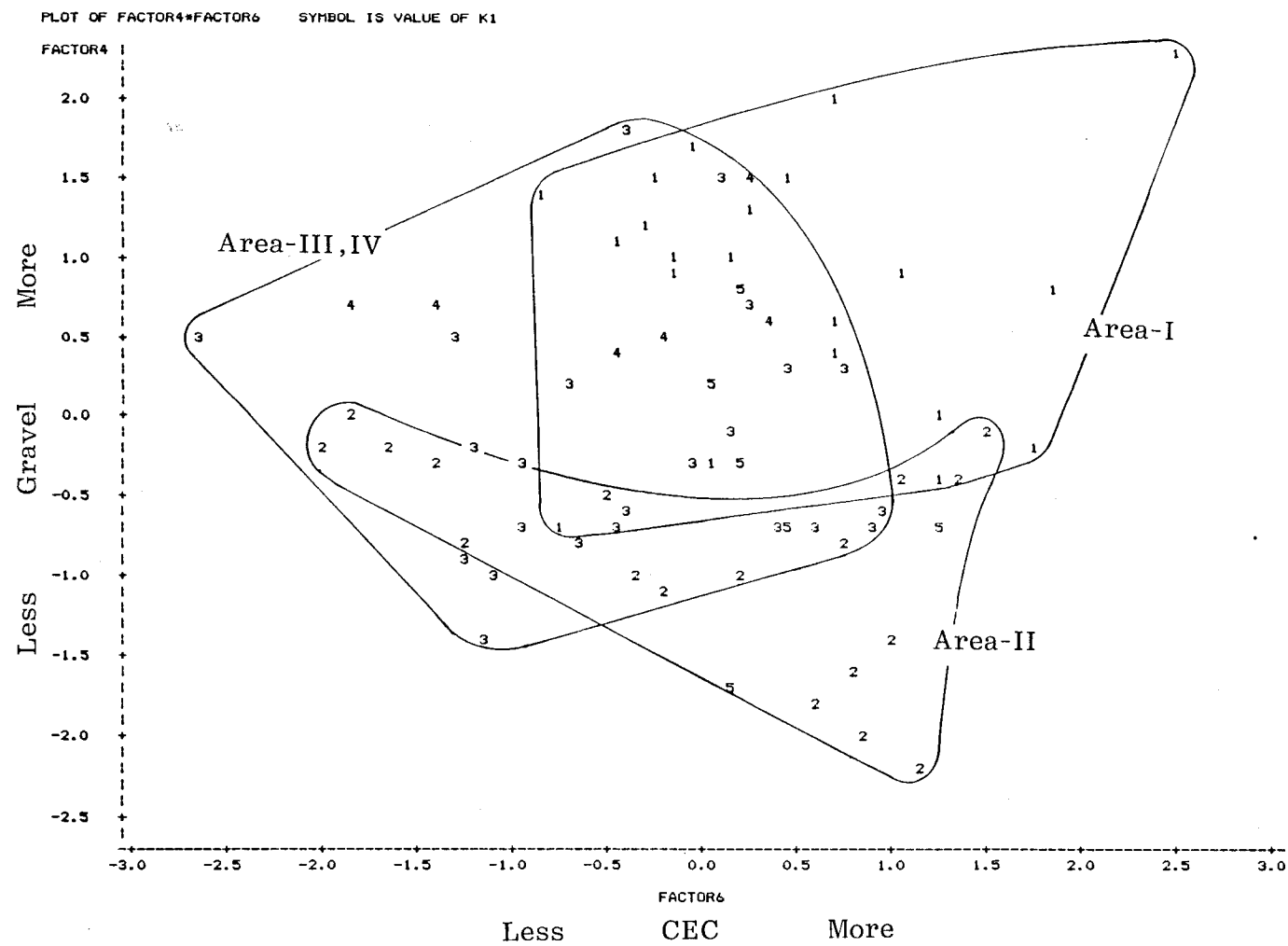


Fig.3.12 Distribution of soils by Factor4 and Factor6.

の方法で因子分析を試みた。

Tab. 3.6 に因子の固有値，説明率，バリマックス回転後の因子パターンを示す。四角で囲んだ負荷量の大きい要因からそれぞれの因子は以下のように意味づけられる。

第1因子——孔隙の多さ

第2因子——孔隙組成，隙，水分（マサ土と大阪層群の別）

第3因子—— ex. Ca 集積度

第4因子—— C E C（母材の粘土鉱物）

第5因子——通気・透水性，乾湿度

第6因子—— ex. K 集積度

これらの因子のうち第1因子はさきの全層の因子分析結果の第1因子に，同様に第3は第3に，第4は第6に，それぞれほぼ対応している。以下，各因子軸に対する各土壌の分布を検討する。

Fig. 3.13によればⅠ工区（マサ土）では粗孔隙，隙が多く，かつ乾いたものが多く，Ⅱ工区はその逆，Ⅲ工区はち密なものが多く，孔隙組成，乾湿度はⅠとⅡの中間に位置する。

Fig. 3.14によれば，Ⅰ工区は通気・透水性，乾湿度に変動が大きく，孔隙の多さとの相関はないが，Ⅲ工区では孔隙の大きいものほど通気透水性が大で乾燥しているようである。

その他，図には示さないが，母材の C E C，置換性塩基などはマサ土では変動幅は少なく，大阪層群（Ⅲ工区）においてたいへんバラツキが大きい。ここではうまく分離しなかったが，堆積の環境が海水か淡水か，またその母材料などによって，大阪層群にも多種あると考えられる。対象としたのは，すべて攪乱を受けてから10年以上を経過しており，風化が進行したり，建設残材の影響も受けているものもあろうが，Ⅲ工区の盛土の産地は1か所でないことを示唆している。ex. Kはマサ土の場合，孔隙の多さと正の相関があり，もともと ex. Kの少ないマサ土の中・下層では植物体やA〇層ないし表層土からの ex. Kの下降のしやすさは孔隙の多さと関連しているとみられる。

以上の解析結果から，マサ盛土地区では C E C， ex. Ca 集積度でまとまった値をとり，また粗孔隙と隙が多く水分が少ない点で大阪層群とほぼ区分できることが判明した。さらに大阪層群はその化学的な性質においてバラツキが大きく，もともとの性質とともに現在の排水条件をも反映しているとみられる。

C. N₄ 値と土壌の諸性質の関連

さきに表層土の深さを簡便に知る方法として小型貫入試験器による測定結果を述べたが，この N₄ 値も土壌の密度をしめす指標と考えられるので，B. で述べた諸性質との関連をみて，表層土とする値について検討する。物理性測定試料採取位置と貫入試験位置は厳密には同じでないが，調査区内の N₄ 平均値と Vw1 の関係をみたのが Fig. 3.15である。芝生地表層土ではかなり N₄ 値は高めである。隙による影響があるためか，Vw1 に対する N₄ 値のバラツキの上限は乱れる。そこで，下限付近に注目して図中に線を引くと，マ

Tab.3.6 Results of factor analysis of middle and sub layer soil properties.

	1	2	3	4	5	6	7	8
EIGENVALUES	7.889997	4.803964	2.583276	1.672780	1.384151	1.063476	0.827491	0.637957
PORTION	0.343	0.209	0.112	0.073	0.060	0.046	0.036	0.028
CUM PORTION	0.343	0.552	0.664	0.737	0.797	0.843	0.879	0.907
	9	10	11	12	13	14	15	16
EIGENVALUES	0.564719	0.474304	0.395567	0.388532	0.199720	0.071157	0.019280	0.013192
PORTION	0.025	0.021	0.017	0.017	0.009	0.003	0.001	0.001
CUM PORTION	0.932	0.952	0.969	0.986	0.995	0.998	0.999	1.000
	17	18	19	20	21	22	23	24
EIGENVALUES	0.004717	0.003219	0.001546	0.000688	0.000257	0.000008	0.000003	0.000000
PORTION	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CUM PORTION	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

6 FACTORS WILL BE RETAINED.

ROTATED FACTOR PATTERN

	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	FACTOR6
S1 PH	-0.17747	-0.06252	0.72773	-0.05152	0.10834	-0.16404
S2 CEC	0.08349	0.02185	-0.15985	0.63673	0.24262	-0.46294
S3 ex.Na	-0.08145	0.03548	0.48335	0.66195	-0.03941	0.06543
S4 ex.K	-0.11991	0.16562	0.05158	0.00326	-0.02861	0.85738
S5 ex.Mg	0.19716	0.48453	-0.11377	0.62572	-0.15902	0.07469
S6 ex.Ca	0.02873	-0.10429	0.84838	0.35809	0.13149	-0.02632
S7 %B	0.01784	0.00411	0.87510	-0.16137	-0.01648	0.20903
S8 T-C	0.20602	0.43631	0.42029	-0.35356	0.32673	-0.04577
S9 T-N	0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00000
P1 Vw 1	-0.94860	-0.03494	0.06580	-0.00122	-0.26191	0.02121
P2 2	-0.92186	0.21203	-0.06968	-0.05214	-0.22997	0.09755
P3 P 1	0.95400	0.08332	-0.04198	-0.00783	0.24206	-0.03839
P4 2	0.93297	-0.20269	0.04391	0.03344	0.24533	-0.11858
P5 fP	0.22743	0.84992	0.06160	-0.18584	-0.18922	0.01356
P6 cP	0.51906	-0.67118	-0.07649	-0.16957	0.33851	-0.04005
P7 Wmax 1	0.84837	0.27574	-0.13457	0.02498	-0.33352	0.09800
P8 2	0.90884	0.00799	-0.05491	0.06364	-0.37806	0.02551
P9 Amin 1	0.24128	-0.28223	0.13486	-0.04262	0.85981	-0.19832
P10 2	0.24322	-0.34007	0.14328	-0.02922	0.82908	-0.21332
P11 Solid	-0.95418	-0.08999	0.03928	0.00298	-0.23537	0.04303
P12 Water	0.29670	0.64313	-0.08574	0.08207	-0.55683	-0.13967
P13 Air	0.47755	-0.47363	0.04120	-0.07430	0.64679	0.08677
P14 Gr.	0.26062	-0.75739	0.22775	0.11484	0.09903	-0.24061
P15 K	0.43743	0.00421	-0.08484	0.22440	0.54163	0.28746

VARIANCE EXPLAINED BY EACH FACTOR

FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	FACTOR6
7.142207	3.227262	2.618594	1.667404	3.416861	1.325315

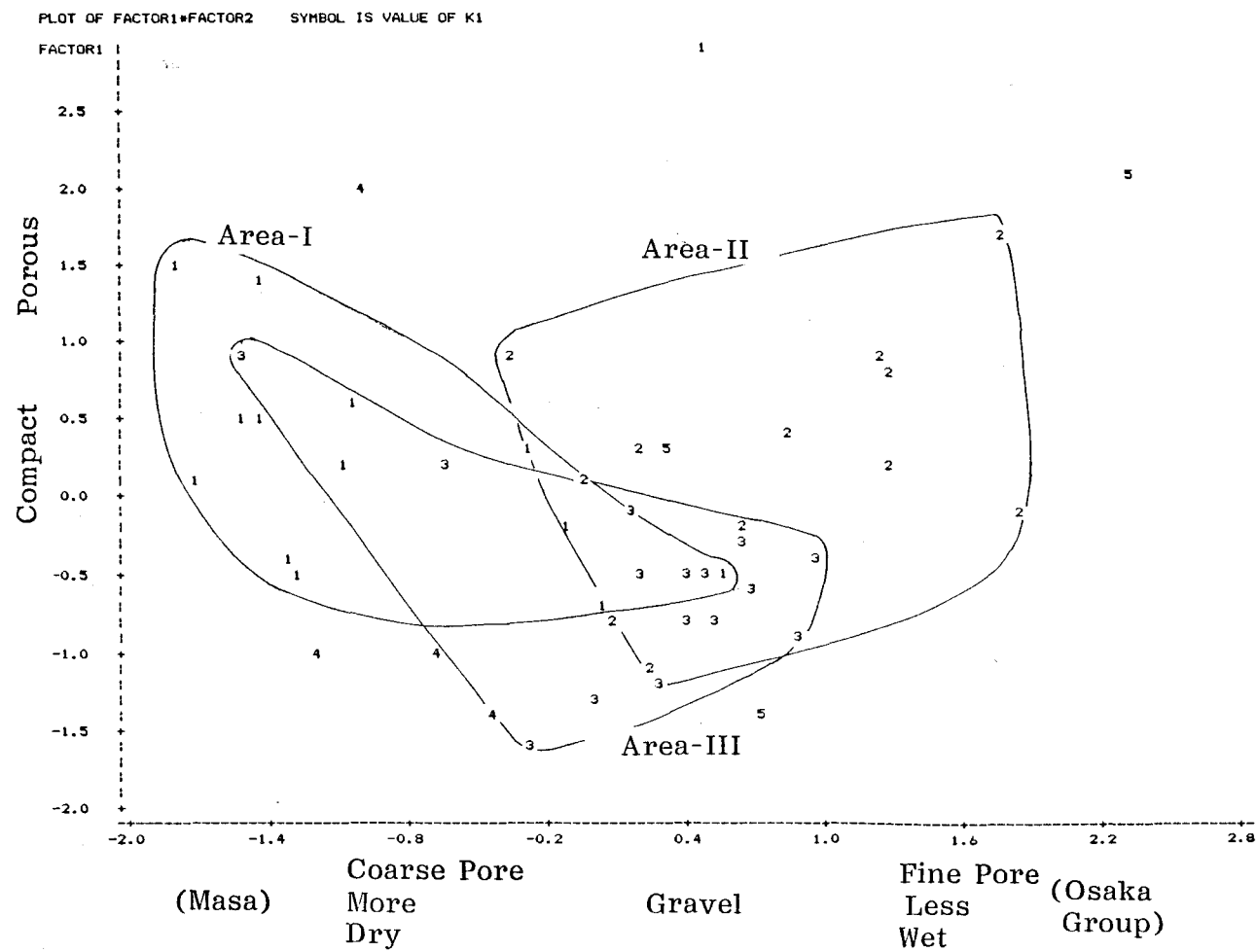


Fig.3.13 Distribution of soils by Factor1 and Factor2.

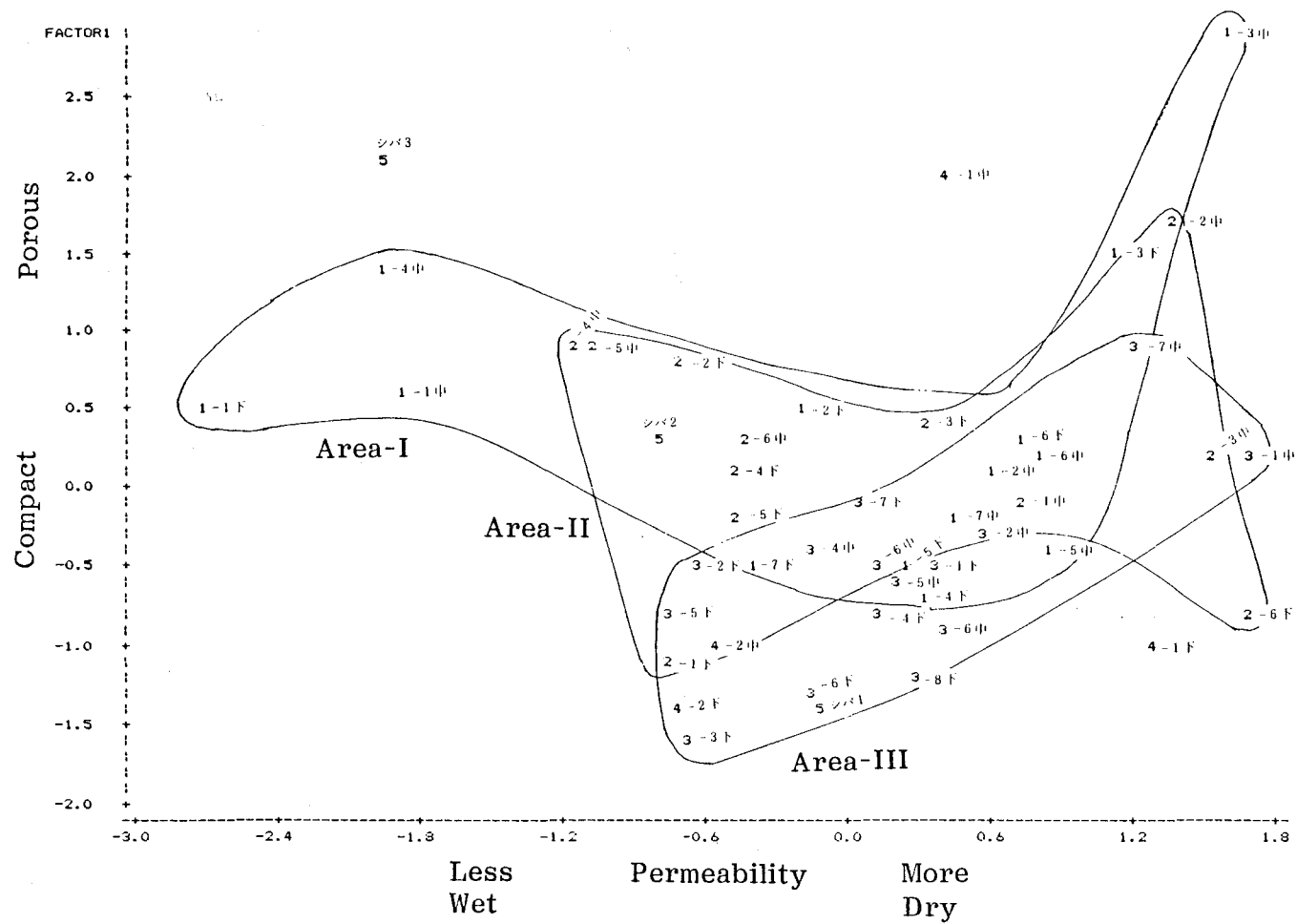


Fig.3.14 Distribution of soils by Factor1 and Factor5.

サ土の方が大阪層群よりやや N_4 値が高いようであるが、さきに表層土の基準とした N_4 値20は V_{w1} でほぼ $1.4 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ となる。

樹木生育に大きく影響すると予想される中・下層土諸性質の因子分析結果のうち、ち密度の軸と水分に関係する軸において、 N_4 値のクラス別に土壌の分布をみるとFig. 3. 16のようになり、 N_4 値はほぼち密度（第1因子）に比例するが、第2因子もこの関係に影響をあたえており、図上に N_4 値20の線を引くと、水分が少なく礫が多くなると N_4 値が増大しているのがわかる。

D. 土壌条件と樹木生育の関連

調査地の表層土は概して薄いので、土壌の深さがまず重要な樹木生育制限要因となると予想して、かりに $N_4 \leq 20$ の土壌の深さと単位面積当りの幹材積生長量 ΔY の関係をFig. 3. 17に示した。礫による影響をできるだけさけるため $N_4 > 20$ の値が1回あっても、すぐ下層が20以下の場合は無視している。また、最初に述べた目視による大まかな生育評価も示しておいた。この図によると、1、2の例外を除いて両者に相関がみられる。この関係から下方にずれたウバメガシ不良林は、調査時の湧水のみられた過湿地であり、上方にずれた落葉樹林は砂礫を多く含むところであり、過湿地と粗大礫の多い所における表層土把握法としての N_4 値の検討の余地を示している。この例を除けば、少なくとも60cm程度までは N_4 値20以下の土層の増大は明らかに樹木生長量の増大をもたらすといえる。なお、ここで注意すべきことは、この土層厚は盛土厚ではなく、かたくない表層土厚を意味していることである。

一方、土壌の性質として、さきの中・下層土の諸性質の因子中、最も説明率の高い第1因子について各調査区の中・下層土のスコアの平均値を用い、量的な指標として $N_4 \leq 20$ の土壌深さをを用いて各調査区を位置づけたのがFig. 3. 18である。樹林地は ΔY のランク別に、ソメイヨシノの単木植栽ないし列植が行なわれたところでのデータも加え、生長錐により最近4年間の直径生長量を2個体について測定した平均値を図のように分級して示した。この $\Delta D < 0.4 \text{ cm/yr}$ のソメイヨシノは極度の生育不良で、主幹の枯れ下りもみられる。同じく $0.8 \sim 0.4$ のものは極端な形の乱れはなく、 1.2 以上のものは健全な形で枝葉の密度も正常と認められる個体である。この図によれば、やはり過湿や礫の多いところですこしはずれるが、全体としては左下程（ち密で土壌が浅い）生育不良、右上程（孔隙多く土壌が深い）生育良好の傾向が明らかで、 $N_4 \leq 20$ の土層厚や土壌ち密度が重要な樹木生育制限要因となっていることが分る。かりに生育不良を $\Delta Y < 1.6 \text{ m}^3/\text{ha/yr}$ とすると（これは一見して分る極度の不良区である）表層土深さで約25cm以下となる。また、第1因子のスコアで -0.1 から 0.1 程度を境界とすると、その範囲の土壌4点の固相率は平均56.75%、標準偏差 0.29 となった。すなわち、これよりち密なところで生育がたいへん不良である。この20~50cm深の土壌のち密度は造成後せいぜい10年で、根系分布もきわめて少ない現在、造成当時の状況から大幅に変化しているとは考えにくいので、生育の良否をもたらしたこのち密度の差は造成時に締固まりの程度の差としてあった可能性が高い。

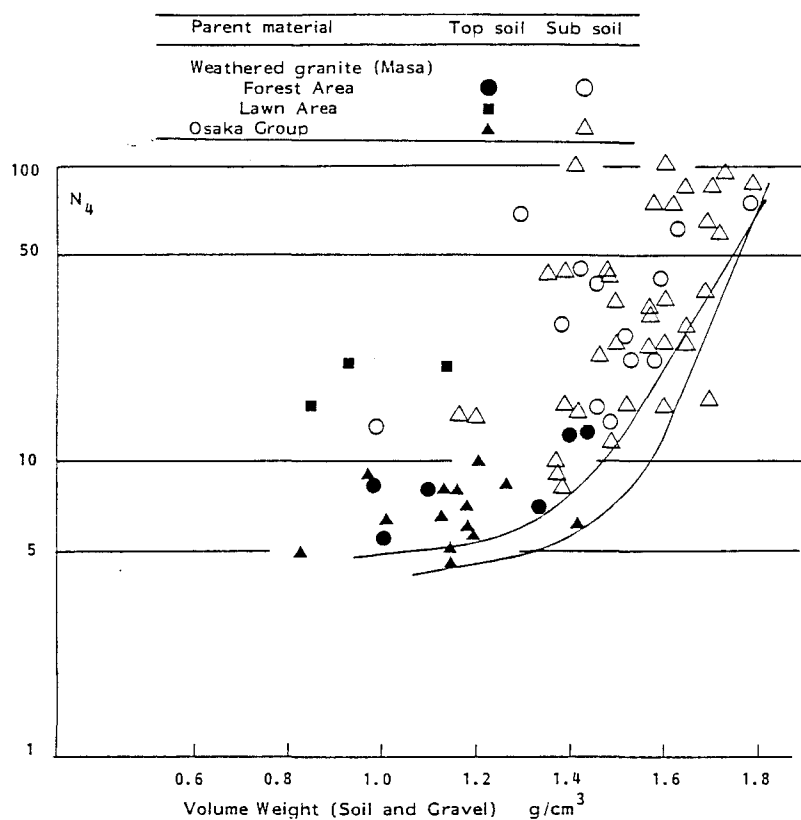


Fig.3.15 Relation between volume weight and N_4 .

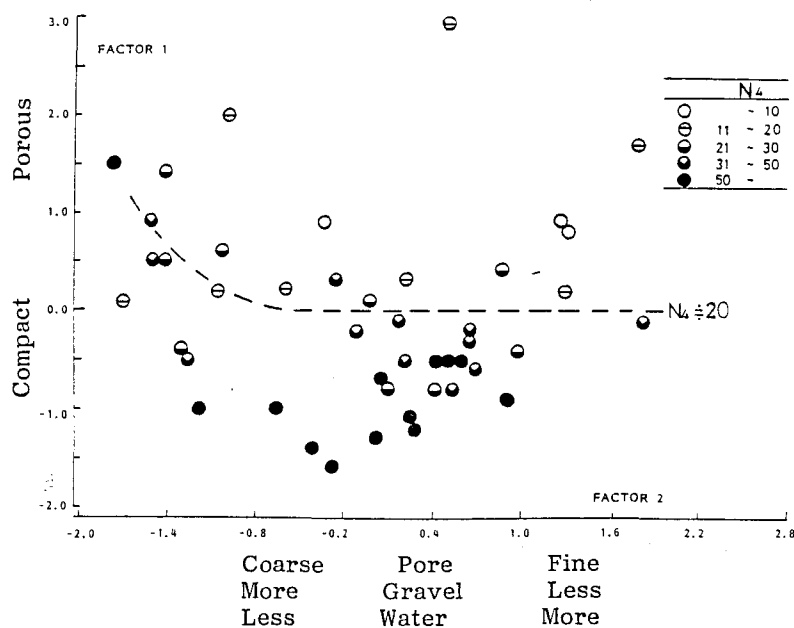


Fig.3.16 Distribution of soils of some N_4 classes by Factor1(Uncompactness) and Factor2(Wetness, fineness of porosity). (Middle and sub layer soils)

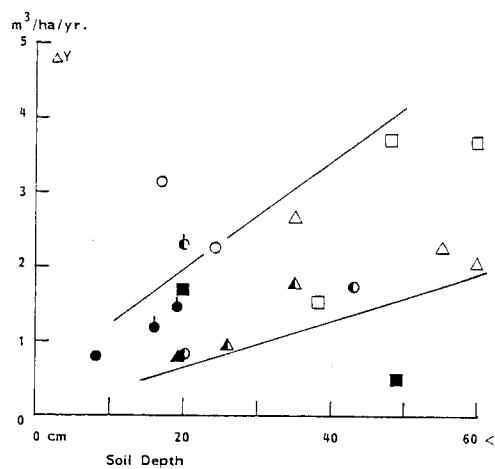


Fig.3.17 Effect of soil depth($N_4 \leq 20$) to the growth of stem volume.

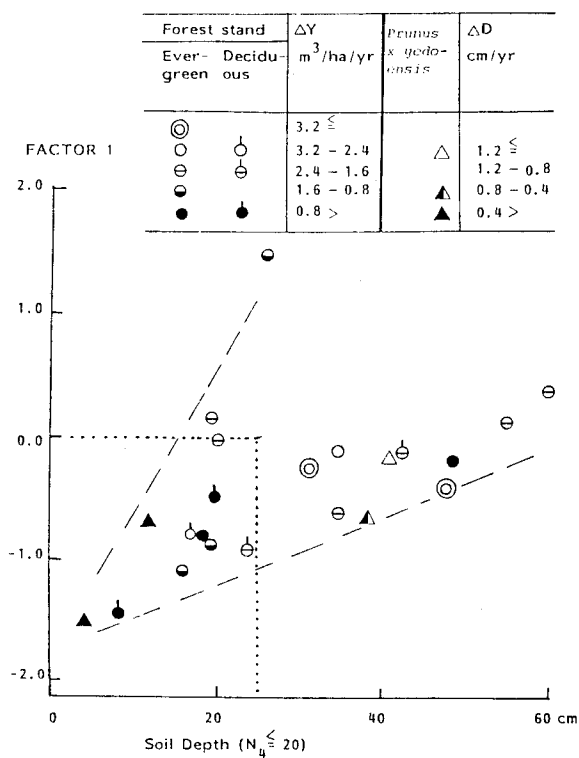


Fig.3.18 Effect of soil depth and the major factor of middle and sub layer soils to tree growth.

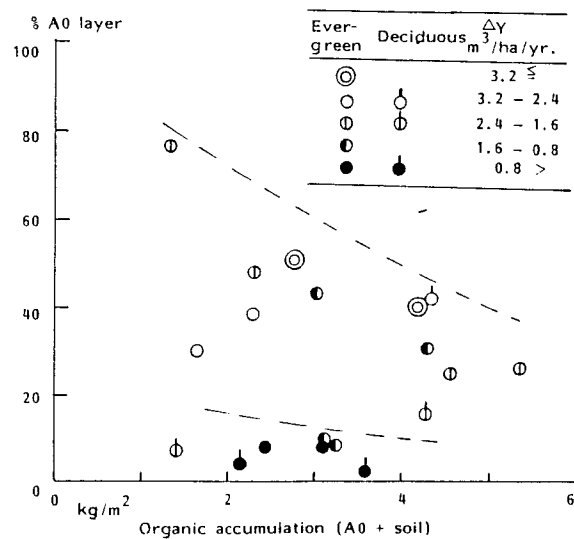


Fig.3.19 Relation between organic accumulations and % A0 layer of some tree growth condition classes.

他方、化学性については初期条件の差が生育に影響を及ぼしている傾向は明らかにできなかったが、腐植の集積が表層土の発達に影響を与えているのは因子分析で確認できたのでFig.3.19に有機物の集積量とそのタイプ（A〇層に占める割合）の軸に対して、樹林として取り扱った調査区の生育ランクを示しTab.3.7に平均値を示した。有機物集積量と生育の単純な相関はないようだが、生育不良区では集積量は特に小さくはないがA〇層の割合

Tab.3.7 Average organic accumulations.

Area	A〇 layer		Soil		Total
	mean	sd	mean	sd	
I (Masa)	0.80	0.58	1.77	0.72	2.57
II (Osaka group)	0.85	0.59	2.88	0.86	3.73
III (—)	0.58	0.53	2.69	0.84	3.27

(kg/m² /25cm)

が少い。これは樹木生育不良区では林冠が疎でセイタカアワダチソウ (*Solidago altissima*) やイネ科草本が繁茂していることや過湿条件との関連が考えられ、草本群落ではA〇層より土壌中に腐植が集積し（2章のり面でも同様であった）、過湿による分解不良も考えられる。A〇%の上限値は集積量が増加するにつれて小さくなっている

Tab.3.8 Average nitrogen accumulations in mineral soils.

Area (Const- ruction)	1974		1982		Increment **
	T-N*	C/N	T-N*	C/N	
I (Masa, 1972)	36.2	45***	61.6	17	3.2
II (Osaka group, 1973)	56.4	12	119.6	14	7.9
III (— , 1974)			98.4	16	

*:g/m² /25cm, **:g/m² /25cm/yr

***:High ratio because of bark compost.

ようだが生育良好区はその大きい部分に位置する傾向がうかがえる。

有機物の集積は樹木生育にともなうリターの供給やその分解、流亡などの結果であって、この量をもってただちに立地の良否とむすびつけられないが、照葉樹林下の成熟した土壌の蓄積量よりはるかに少ない。なお有機物集積量の初期条件は厳密には不明だが、ほぼ有機物を含まない盛土材に一定の有機質土壌改良材が投入されている。植栽 1～2年後のⅠ、Ⅱ工区で1974年に調査したデータを用いて、増加のようすをTab.3.8に示した。なお、バーク堆肥の施用されたⅠ工区では2年目でもC/N比がたいへん高く、無機質土壌中の炭素はこの8年間で増加していない。チッ素はⅠ工区で年間 m² あたり 3.2g, Ⅱ工区で 7.9gの増加となった。これは若い治山造林地のハンノキを主とする林の例（年間平均100kg/ha⁶⁾）よりやや少ない。調査区は植栽以降の施肥はしていないので、降水（年間 1～30kg/ha という⁷⁾）その他によって、樹林の生育にともなって増加したことになるが、蓄積量の初期条件の差が現在の生育の良否を生みだしたとは考えられない。むしろ物理性の差が樹林の生育を媒介として蓄積量に影響する側面が強いのであろう。

3-3 表層土中の地下水位と樹木生育の関連

前節では調査地の樹木の生育不良要因としては表層土の深さが浅いことと表層土の密度が高いことが主要なものであることが明らかとなった。このような浅い表層土でかつ、下層の透水性も不良で K が 10^{-5} cm/sec程度のところも少なくないので、梅雨時などの湿潤時における根圏の滞水が容易に生じ、いわゆる根ぐされにより樹木生育を阻害することが予想される。この点は経験的にはよく指摘されるにもかかわらず、実際の緑地において表層の地下水位を測定した例はきわめて少なく、造成地形や盛土材と表層地下水位の関連はほとんど不明であり、緑地における暗渠排水などの計画設計は経験にたよっている部分が少なくない。このような造成地の樹木生育基盤の特性としては前節に述べた有効な土層の深さとその諸性質のみならず、地下水位も重要な要素であると予想できる。

そこで調査地の表層地下水位の変動を測定し、樹木の生育状況との関連づけを試みた。

(1) 概況

すでに述べたように調査地の地質は大阪層群で、在来地盤は青粘土も分布して排水が不良なため70年万国博当時の植栽木にも多くの根ぐされが生じており、記念公園造成の際にも排水に留意するよう指摘されている²⁾。また各所で透水管やそだ暗渠が設置され、Ⅰ工区では比較的透水性がよいとされるマサ土が盛土材に用いられている。にもかかわらず、生育不良地区で1982年に行なわれた再整備にともなう生存木の移植の際の観察によれば地表下50cmまでに湧水のみられたところも少なくない。樹高4m程度の高木樹種でもすべて根系分布は表層20cm程度までに限られ、根鉢は樹種に関わらず扁平であり担当者によれば掘取りはたいへん容易であったといい、土壌密度とともに地下水位による根系の分布の制限を示唆している。

(2) 調査法

調査地のほぼ全域は傾斜 10° 未満の緩斜面に造成されており、樹林地はそのたいへんだらかな尾根部から斜面下部にかけて位置している。これらの斜面をいくつか選定し、その上部、中部、下部に観測井戸を設置した。斜面の選定にあたっては、Ⅰ工区、樹木の生育状況、貫入試験による表層土深調査、湿潤時(1983年4月)の滞水状況を参考とし、地下水位が深いと考えられるところからそうでないところまでを網羅できるように注意した。

ハンドオーガーでFig. 3.20に示した24か所を1983年5月30日までに掘削して塩ビ製パイプ(外径6cm, 内径5cm, 側面に小孔をあけて土層中とパイプ中の水位の速やかな平衡を意図している)を埋め込み、蒸発防止の蓋をかぶせて観測井戸とした。井深は原則として根圏と考えられる範囲で土層の質や密度も参考に決定した。

水位の測定は梅雨前の乾燥時である6月6日よりほぼ1週間間隔で行なった。

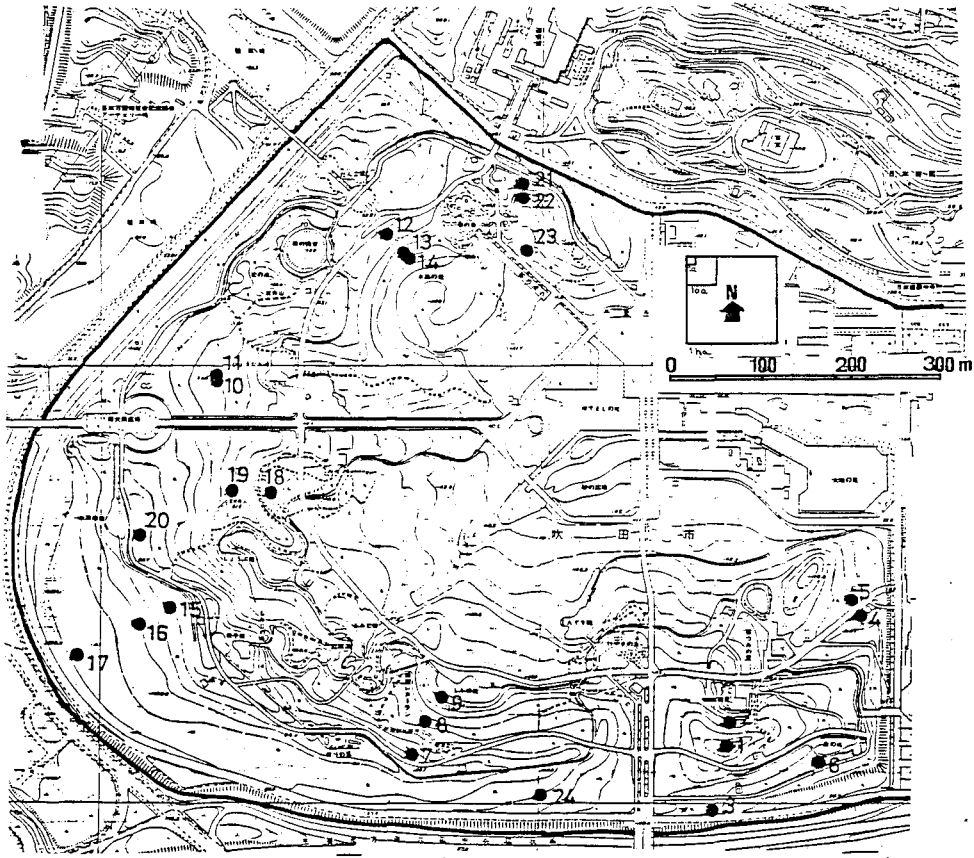


Fig.3.20 Spots of observation wells.

Tab.3.7 List of wells and the ground water level in the rainy season.

Well No.	Area	Forest Growth #1	Con- tour Form #2	Slope Part #3	Direction Degree	Altitude (m)	Effective Relief #4 (m)	Ground Water level in the Rainy season			
								High- est (-cm)	Low- est (-cm)	Wet Days #5	
1	Masa soil mound- ed slopes, Ist construction area.	△	V	UP	-	0	54.7	0.0	85.7	101.0+	0
2		△	C	MID	N	10	50.5	4.2	7.2	61.5	14
3		○	F	LOW	S	3	48.0	6.5	41.2	81.0	0
4		△	F	LOW	N	4	42.0	7.0	19.7	83.3	3
5		△	F	LOW	E	4	41.5	5.0	0.9	43.6+	20
6		○	F	MID	S	3	47.0	7.7	18.5	61.0	10
10	Slope-A, IInd con- struction area.*7	●	F	MID	ESE	2	52.0	3.0	14.1	37.0+	27+
11		●	F	MID	ESE	2	52.1	2.9	9.5	30.0+	15+
12	Slope-B, ———.	○	F	UP	SE	4	52.2	0.0	105.4	160.1	0
13		△	F	MID	SE	10	46.5	5.7	9.2	77.3	6
14		●	F	LOW	SE	10	45.7	6.5	6.7	52.3	22
21	Slope-C, ———.	△	F	UP	S	0	56.3	0.0	81.0	81.0+	0
22		△	C	MID	S	12	54.0	2.3	30.7	57.0+	2
23		△	C	LOW	S	2	51.0	5.3	20.1	77.8	4
7	Slope-D, IIIrd con- struction area.	△	F	UP	NNE	5	55.3	1.5	10.0	47.5	25
8		△	F	MID	NNE	5	51.5	5.0	7.7	47.0+	21
9		●	C	LOW	NNE	7	48.0	8.0	7.5	40.8+	40
15	Slope-E, ———.	●	F	UP	WSW	4	58.0	3.4	4.9	55.5	23
16		○	F	MID	WSW	2	56.0	5.4	4.5	29.8+	23+
17		△	F	LOW	WSW	2	54.5	2.5	5.0	49.5+	17
18	Slope-F, ———.	●	F	LOW	W	6	48.0	7.0	3.2	58.2+	18
19		●	F	MID	W	3	52.0	6.0	7.5	60.0	17
20		●	F	UP	W	3	58.5	0.0	7.2	46.5	28
24	Newly reclaimed Area		F	Flat	-	0	53.0	0.0	33.5	83.8	2

*1)○:Normal, tree canopies are closed, or tree forms are normal. △:Slightly inferior, tree canopies are not closed, but tree forms are not so much inferior. ●:Inferior, tree canopies and tree forms are obviously inferior.

*2)C:Concave. V:Convex. F:Straight(carvature radius is less than 100m).

*3)UP:Upper part of the slope. MID:Middle part. LOW:Lower part.

*4)Difference of Altitude between the point and the highest point within 100m of distance.

*5)Number of days when the ground water level is higher than -40cm from the soil surface during the early summer rainy season in 1983.

*6)Osaka group soils are mounded in the IInd and IIIrd construction areas.

*7)The poplar forest is normal, but the neighboring forests of common species are inferior.

(3) 調査結果と考察

A. 地下水位測定結果

Fig. 3.21に地下水位観測結果を降水量（最寄りの蛍ヶ池にある測候所による）とともに斜面ごとに分類して示した。

当年は春先は例年になく湿潤であったが、梅雨の前は乾燥しており、観測結果はその乾燥時から梅雨、夏期乾燥時を経て秋期に湿潤状態となるまでを示してある。これは当年の樹木生育期間のうち最も湿潤なときと最も乾燥した季節を含む連続記録といえる。

当年の梅雨は最初の降雨が6月12日であるが、同20日にまとまった降水があり、すべての井戸で水位が観測され、著しいピークとなっている。多かれ少なかれ調査地の樹木は過湿な状態におかれたといえる。7月5日にもまとまった降水があったが、ほとんどピークはみられない。これは降雨強度が大きくて地表流下の割合が多かったためかとも思われる。

7月15日以降、梅雨期最後の降雨となった7月23日までは1降雨の量は少ないが、比較的連続した降雨があり、これに対応してほとんどの井戸で水位のピークがみられる。

梅雨明けからの水位の低下は初期に著しく、のち緩やかとなる。夏期には多くの井戸で地下水がみられなくなったが、渇水状態とならなかったものによると9月初旬に水位の最低値を記録した。なお当年の残暑は例年になく厳しく、8月の降水量が少なかったので、夏期乾燥時の水位は例年より低めの値が得られていると思われる。その後、降雨にともなって全般的に水位が上昇している。

このように、ほとんどの地点で、少なくとも梅雨期のような湿潤時には地下水位の上昇が著しく、そのような時期が当年の場合、ほぼ1.5ヶ月つづいている。この期間の水位が高く継続する場合は根系の伸長深さが過湿によって制限されと考えられる。Tab. 3.9に各井戸の梅雨期の最高水位と最低水位をその付近の樹木生育状態と地形条件とともにまとめた。これによると、最高水位はⅠ工区マサ盛土地区で平均 -20.9cm 、Ⅱ工区大阪層群盛土地区で -34.6cm 、Ⅲ工区大阪層群盛土地区で -6.4cm となった。

一方、最低水位は同じく -71.9cm 、 -71.6cm 、 -48.3cm である。（2, 3の渇水状態となった井戸については井深を代用した）井戸によって水位のバラツキが少なくないが、斜面ごとにみると、上部で水位が低く、中・下部で高いようである。この傾向はⅠ・Ⅱ工区で明らかだが、Ⅲ工区では上部でも高い。等高線の凹凸や斜面形状との関連は、すべて 10° 未満のなだらかな緩斜面であるためか、明らかでない。

また、最高水位が -10cm を超えた井戸では -40cm より高い水位の日数が14日を超えており、樹木生育不良区ではこの日数は15日以上、最高水位も -15cm 以上となっている。一方、生育正常区ではギンドロ林を除き、10日未満である。このように、梅雨時の地下水位の高さは樹木の生育と関連がみられるが、これは過湿（空気不足）による根系生育阻害が梅雨時に生じて根系分布が表層にのみ集中し、夏期の早ばつの影響を受けやすいためであろう。

地形条件としての有効起伏量と梅雨時の地下水位の関係をFig. 3.22に示す。有効起伏量は竹下⁸⁾が林地の立地の解析に用いた地形の指標要因で、水平距離100m以内の最高点と対

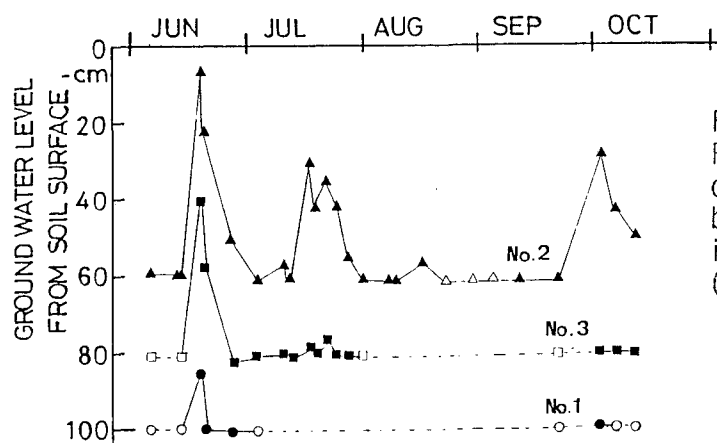
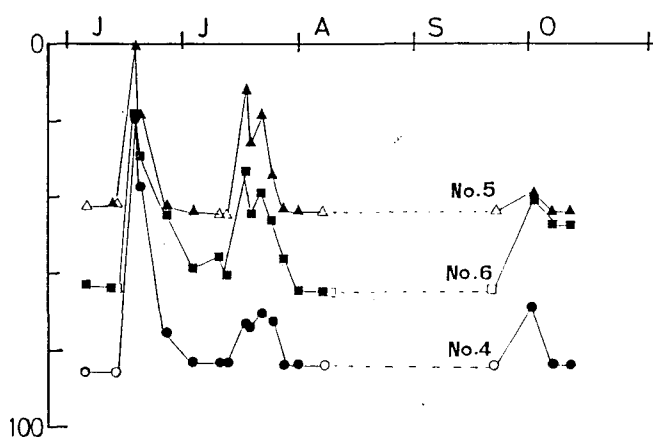
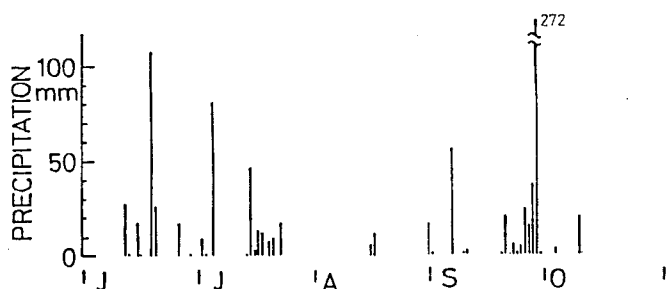
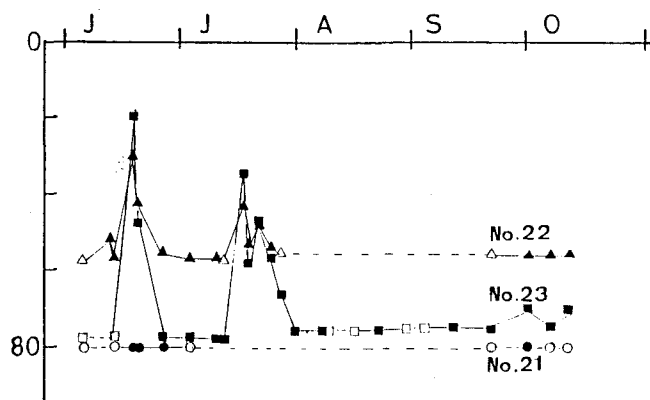


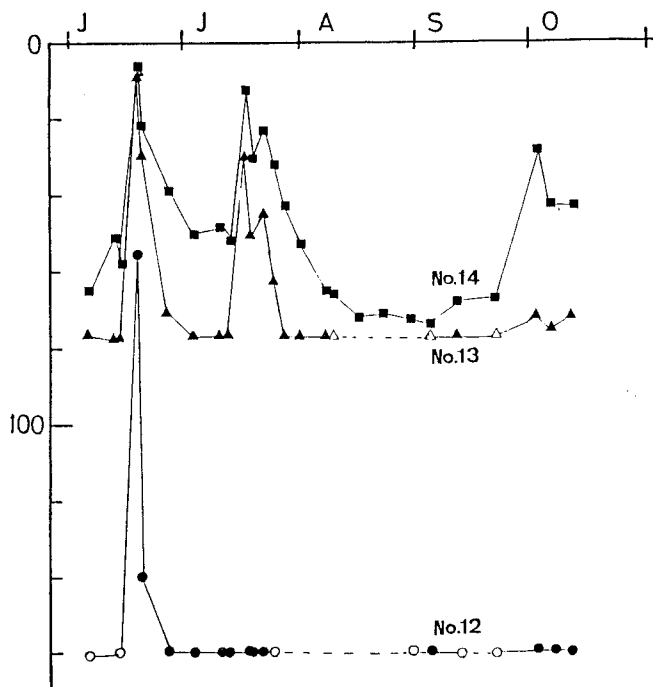
Fig.3.21
Results of ground water level
observations. (Precipitation is
by the meteorological observatory
in Hotarugaike.)
(1)Area - I,
Masa-soil mounded slope.
No.1:Upper part of the slope.
No.2:Middle.
No.3:Lower.



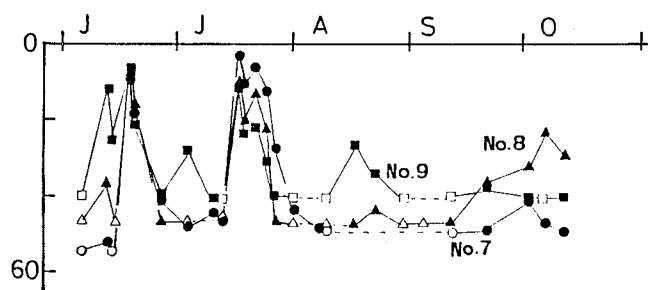
(2)Area - I (Continued)
No.4:Lower.
No.5:Lower.
No.6:Middle.



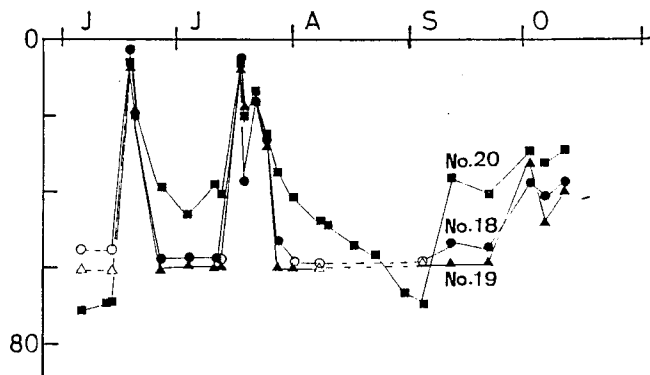
(3)Area - II,
Osaka group soil mounded
Slope-C.
No.21:Upper.
No.22:Middle.
No.23:Lower.



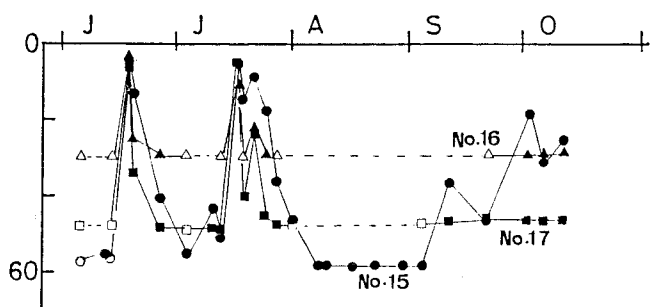
(4)Area - II, (Continued)
Slope-B.
No. 12:Upper.
No. 13:Middle.
No. 14:Lower.



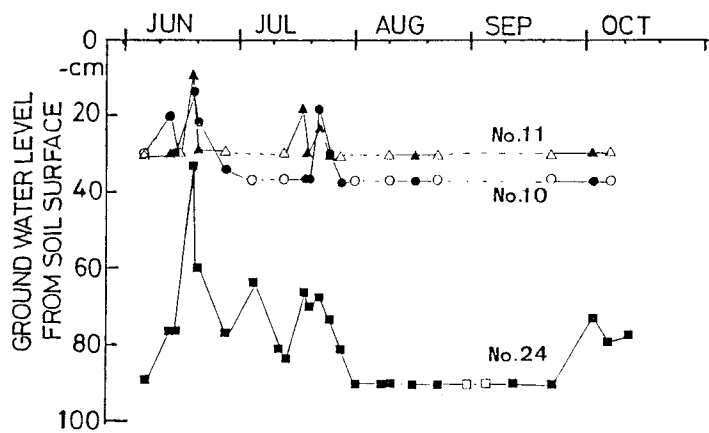
(5)Area- III,
Osaka group soil mounded
Slope-D.
No. 7:Upper.
No. 8:Middle.
No. 9:Lower.



(6)Area - III, (Continued)
Slope-F.
No. 18:Lower.
No. 19:Middle.
No. 20:Upper.



(7)Area - III, (Continued)
Slope-E.
No. 15:Upper.
No. 16:Middle.
No. 17:Lower.



(8) Near open sewers.
 Area— II, Slope-A.
 No. 10: 1m from the sewer.
 No. 11: 5m from the sewer.
 Reclaimed area(' 83).
 No. 24: 8 m from the sewer.

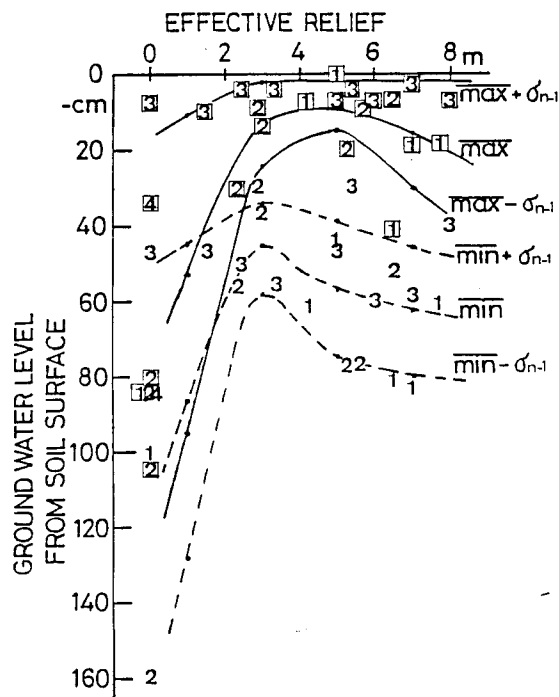


Fig.3.22
 Maximum and minimum ground water level in the rainy season as related to effective relief.
 (1:Area-I, 2:Area-II, 3:Area- III
 4:Reclaimed in ' 83, □:Maximum
 No marks:Minimum.

象地点の標高差であり、斜面での水分供給可能量に関連しており、造林木の生育にもっとも関連の深い地形要因であるという。また有効起伏量40m までを小有効起伏で林木の生育不良、40~80m までを中有効起伏で生育良好、それ以上は過大で、生育がかえって低下することもあるとしている。これは山地で調べられた結果であり、これと比べて本調査地は造成緩斜面であり、有効起伏量はたいへん小さい。したがって、そのまま比較して論じるのは適当でないが、地下水位と関連を持つのではないかと考えたわけである。図には有効起伏量2mごとの平均値と標準偏差を梅雨時最高水位と最低水位について求めて、それぞれ実線と破線で示しておいた。これによると、有効起伏量2m以下（すなわち緩斜面上部にあたる）での水位は低いが、2~6m（緩斜面中・下部）で高くなり、それ以上（緩斜面下部のことが多い）でやや低下の傾向がみられる。またこの傾向はⅠ・Ⅱ工区について明らかだがⅢ工区では有効起伏量に関わらず、最高水位も最低水位も高い。Ⅲ工区は前節で述べた表層土の深さも浅く、造成時に強い締固めを受けたのであろう。

B. 樹木生育基盤の特性としての地下水位

本調査地で明らかとなった地下水位は梅雨期で特に高かった。この値は照葉樹林や意図されている落葉広葉樹林、あるいは「散開林」の高木の健全な育成にとって大きな問題である。水位がどの程度であればそのような植生の成立が可能かという点については調査例がたいへん少ないので断言は困難である。一般に成熟した褐色森林土の分布する山地では沢ぞいの湿地を除いて還元層が表層1m以内に出現するグライ土は広い面積を占めない。地下水位が根圏を制限するような事例は本調査地のような緩斜面や平坦地で発生するとみられる。

そこで、このような地形の他の事例をみると、まず第1章で述べた京都御苑では樹高20~30m の健全なケヤキなどの落葉樹が生育するところで、地下水位は地表下約 8~10m であった。これより大径のケヤキなど落葉樹にコジイなど常緑広葉樹をまじえた樹高20~30m の平地林の糺の森（京都市左京区下鴨神社）では1945年頃の調査では地表下 2~3mとみられている⁹⁾。下鴨神社の末社御手洗社ではかつて湧水がみられたが現在では涸れたので糺の森内に井戸を設置しており、その水位は地表下3m程度である。糺の森は厚い砂礫層の上に細粒質の表層土が60cm程度のっている沖積層で¹⁰⁾ 京都御苑は同様の砂礫層の上に 2~3mの細粒質の部分がのっている。どちらも本調査地よりかなり地下水位が低い。また、緑地樹木ではないが、ミカンをはじめとする樹園地でも地下水位が高いと生育不良となるので、改良目標として地下水位を1m以下とする例が多い¹²⁾。

一方、関東ローム上に成立したスギ林は近年衰退し、その原因は地下水位の急激な低下（約10m から10年間で30m となった）との指摘¹¹⁾ もある。

本調査地では湿地に耐えるとされるギンドロの林分を除いて、梅雨時最高水位が-40cm より高くないところでは樹幹の連続した森林状態（樹高は約 4~7m）で正常ないしほぼ正常と判定され、-1mより高くないところは正常（1地区のみ）である。この結果からみると、梅雨時の最高水位で少なくとも-40cm以下、できれば1m以下に設定できれば

一応の森林状態を作るのに著しく不適ではないと考えられるが、この程度で糺の森のような森林となりうるかどうかは不明である。糺の森や京都御苑の基盤は水理学的にみると、土壌中に浸透した水は下層の砂礫層で開放浸透となって地下水面に達するため、表層土中の根系は地下水停滞の害を受けないし、地下水位が梅雨時と夏期で変動して生じる乾燥の害を受けない。これらの点が調査地と異なって好ましいと考えられる。

本調査地では梅雨時に浅く、かつ変動が大きいところが多いことが判明したが、これは前節に述べた土層全体がち密であることに加えて下層の排水層排水管の有効な設置が行なわれなかったこと（その試みは各所にみられたが）によると思われる。基盤整備の際には、さきの有効起伏量と地下水位の関係から、特に緩斜面中・下部における地下排水設備の必要性が指摘できる。

前節では表層土が浅く、中・下層の土壌がち密なところで樹木生育が不良となることが明らかとなったが、そのような地区（Ⅲ工区、Ⅱ－２区など）では梅雨時地下水位も高くなり、樹木生育不良要因として両者が関連して働いていると結論できる。

3-4 総括

大阪層群の分布する千里丘陵につくられた大規模造成地の樹林帯である万国博記念公園における樹木生育状況は全般的に良好とはいいがたい。しかし約10年前に全く表層土の失なわれた地盤の上に人工的に森林植生を回復させようとした試みである点からすれば、かなりの部分で一応の森林状態に達している点は評価できる。しかし、樹林を意図しつつもいまなお林冠がうつ閉状態には程遠い生育不良地も少なくない。この生育不良要因は小型貫入試験器による表層土深測定結果と中・下層土の土壌諸性質の因子分析結果の第1因子（孔隙の多さ）によってほぼ把握でき、表層土厚については N_4 値20以下の土層が25cm以下、第1因子については中・下層の固相率で表現すればほぼ57% 以上で生育不良となることが判明した。

また24の土壌諸性質による因子分析は母材のちがい、締固まり状態の程度や表層土の土壌化の程度を位置づけるのに有効であった。

樹木生育基盤の有機物集積量は施工後 8~10年で $2.6 \sim 3.7 \text{ kg/m}^2 / 25 \text{ cm}$, 土壌中のチッ素はマサ盛土区で年間 m^2 あたり 3.2 g , 大阪層群盛土区で 7.9 g 増加していた。

また、表層地下水位が生育不良区では梅雨時に高くなっており、一応の森林状態とするには梅雨時最高水位で -40 cm 、できれば 1 m 以下にするのが望ましく、特に有効起伏量 2 m 以上（緩斜面中・下部）における地下排水施設の必要性が指摘できた。

文 献

- 1) 吉村元男 (1979):万国博記念公園・自然文化園地区基本設計及び実施設計, 造園雑誌 43(2):41-44.
- 2) 万国博記念協会 (1973):万国博記念公園基本計画報告書「技術編」:254pp.
- 3) 万国博記念協会 (1972):万博記念公園自然文化園地区基本設計報告書:299pp.
- 4) 依田恭二 (1971):「森林の生態学」: 331pp. 築地書館.
- 5) 森本幸裕 (1982):斜面の植物生育環境とその改善策, 「斜面緑化」四手井綱英編: 94-128.
- 6) 堤 利夫 (1963):森林の成立および皆伐が土壌の2, 3の性質に及ぼす影響について—No 1, 京大演習林報告34:37-64.
- 7) ——— (1973):陸上植物群落の物質生産Ⅰb—森林の物質循環:60pp. 共立出版
- 8) 竹下敬司 (1964):山地の地形形成とその林業的意義, 福岡林試時報17:1-100.
- 9) 吉田敬市 (1950):京都市に於ける地下水の陸水学的研究, 史林33(1):45-63.

10) 土壌物理研究会編(1979):「土壌の物理性と植物生育」:420pp.養賢堂.

11) 川名 明ら(1971):都市林における水環境の変化とその影響, 森林立地 13(1):17-21.

第4章

土壌ち密度が造園樹木の生育に 及ぼす影響に関する実験

前章までの調査研究において、樹木生育基盤の土壌ち密度が、現実の緑地における樹木生育成績を左右している重要な要因であると推察された。そこで、本章では土壌ち密度と樹木生育の関連に関する実験をとりあげ、前章までの結論を確認し、土壌ち密度の意義を考察しようとした。

4-1 加踏圧処理による2, 3の造園樹種の生育変化

1-1で述べた京都御苑における調査において、近年まで健全に生育していたと思われる樹木の衰退現象が利用にともなう踏圧によって生じるものと推定した。この点を苗畑において、健全な樹木の周囲に踏圧を加える実験を行なって確認し、生育を抑制する土壌物理特性の値をみようとした。

(1) 供試樹木

供試樹木は、チャンチンモドキ (*Choerospondias axillaris* B.L. Burtt et A.W.Hill) (京大演習林上賀茂苗畑で播種、育成されている実生2年生苗)、ストロブマツ (*Pinus strobus* L.) (同上、実生4年生苗)、ネコノチチ (*Rhamnella franguloides* Weberb.) (京大理学部植物園に自生していた樹高1m前後の実生苗を演習林本部試験地苗畑に移植し、1年間養生した苗) である。

(2) 試験方法

各苗床を突き棒で突き固める程度によって、無処理の対照区 (Cont.), 弱い締固めを行なった区 (Comp. +), 強い締固めを行なった区 (Comp. ++) に分けた。これらは、踏圧の加わらない場所、時々加わる場所、広場的な利用がなされている場所の土壌ち密度をそれぞれ再現しようとしたものである。締固めは1975年2~4月にComp. + と ++ 区について、自然含水比の状態では前者は1回、後者は3回行ない、それぞれ表面がゼロ空隙に近くなって突き棒で突くたびに波打つ状態まで行なった。

生育期における加踏圧処理は、苗木が小さいので枝葉に接触せずに実行することが困難なため行なわなかった。

また、6月と12月に土壌を採取して物理性を測定し、12月に刈りとり、乾重を測定した。

(3) 試験結果と考察

各試験区の表層土の物理性をTab. 4.1 に、その垂直分布を容積組成について示したのがFig. 4.1 である。チャンチンモドキとストロームマツ試験区の方は土壌の母材が粘板岩で細粒質である。ネコノチチ試験区は花崗岩を母材とする扇状地の沖積土で、より熟畑化しており、粗粒質である。加踏圧処理によって容積重、固相率、 N_4 値が増加している。表層土の6月と12月の値を平均して考えると、Comp.++ ではCont. の、固相率で1.3倍、 N_4 値で12~17倍となっており、10月に測定した浸透能は同じく、0.6~3.4% となっている。すなわち、加踏圧処理の最も鋭敏な指標は浸透能であり、ついで N_4 である。また、この処理によって、14cm深くらいまでち密化し、特に表層で著しい。さらに、ち密化による気相の減少も生じており、表層の平均値でみるとComp.++ はCont. の約40~75% となっている。

樹木生育状況はTab. 4.2 に基底直径、樹高、相対成長率 λ 、 T/R 比を示した。なお、以下のように λ を求めた。

$$\lambda = (\ln W_T - \ln W_{T0}) / yr$$

ただし W_T : 刈り取り時平均地上部乾重、

W_{T0} : 加踏圧時平均地上部乾重、(基底直径² × 樹高)と W_{T0} の相対生長関係を刈取り個体および加踏圧時に間引いた個体から求めて推定した。

T/R 比は、根系については全量堀上げ法(個体法)とブロック法(0.5×0.5mのコドラート内の根系を対象とする)を併用して乾重で求めた。

表に示したように、処理による各区の樹木形状の差は大きくない。 λ の処理による差も、いずれの樹種も大きくなく、5%レベルを満足するほどに有意でない。しかしながら、図に示したように、 λ は表層土の N_4 値が増加するほど、すなわち加踏圧処理による土壌ち密度が増加するほど低下する傾向は3樹種とも共通し、いずれもComp.++ はCont. の約85% となっており、加踏圧処理は λ を低下させるといえるだろう。

なお、この図の N_4 値は6月と12月の平均値であるが、 N_4 値の対数の増加に対して λ が1次的に減少しているようである。とすると、この両者の関係はつぎのように表現できる。すなわち、踏圧によって N_4 値が2倍になることに λ は対照区の一定割合ずつ減少し、その割合は上賀茂試験区のチャンチンモドキの場合は4.5%で、ストロームマツは4.2%、北白川試験区のネコノチチの場合は3.7%と全体的にみれば4%程度の値を示した。

上に述べた λ は地上部に関する生長率である。つぎに根系についてみると、 T/R 比はチャンチンモドキとストロームマツの場合は加踏圧処理によって増加しているが、ネコノチチでは減少している。前2者は地上部より地下部の方が、後者では地下部より地上部の生育抑制がみられたわけで、根系も含めた個体重で生育状況をみると、さきの W_T の場合と少し傾向が異なる。すなわち、上賀茂試験地のチャンチンモドキとストロームマツは加踏圧処理にともなう生育抑制はより大きく判定されるが、北白川のネコノチチでは少なく判定されてCont. とComp.+の差はほとんどなくなる。

Tab.4.1 Surface soil properties.

Treatment	Initial size				Size when harvested				Relative growth rate of W_T^{***} yr ⁻¹	T/R ratio		
	Diameter		Height		Diameter		Height			quadrat method*	individual method **	
	mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd				
	mm		cm		mm		cm					
<u>Choerospondias a.</u>	control	5.2	1.22	55.1	6.0	19.2	11.0	191	77	3.35	1.19	
	comp.++	6.7	1.38	64.4	6.1	18.7	11.0	171	62	2.85	2.19	
<u>Pinus s.</u>	control	8.5	1.3	18.7	3.2	14.2	2.6	38.5	5.9	1.44	2.61	2.06
	comp.+	8.3	1.3	19.0	3.2	12.8	2.3	38.5	7.1	1.34	2.82	2.55
	comp.++	9.4	1.8	22.0	9.4	13.6	3.1	39.0	10.3	1.21	3.49	2.40
<u>Rhamnella f.</u>	control	11.1	1.59	129	14.1	17.9	2.39	182	15.9	1.43		1.06
	comp.+	11.9	2.07	142	14.1	19.0	2.55	194	19.8	1.32		0.85
	comp.++	10.7	1.25	136	16.8	16.1	1.83	182	26.0	1.21		0.78

* : Top/root ratio in the quadrat of 0.5×0.5 m.(4 to 11plants)

** : Average value of 2 to 5 individual plants.

*** : $(\ln W_T - \ln W_{T_0})/\text{yr.}$ (W_{T_0} : Average estimated dry top weight when compacted, W_T : Average dry weight when harvested, yr; One growing season in this case.)

Tab.4.2 Growth of trees, initial(Apr.1) and final(Dec.1) size, relative growth rate and T/R ratio.

			Volume weight g/100cc	Water max. volume %	Air min. volume %	Three phase distribution %					N ₄	Infiltration capacity* mm/hr
						Gravel	fine soil	solid	water	air		
<u>Choerospondias a.</u>	control	June	113	43.3	9.7	6.8	40.2	47.0	20.7	32.3	3	270
		Dec.	119	33.9	16.3	5.5	44.3	49.8	23.0	26.3	4	
	comp.++	June	156	32.6	4.4	7.5	55.5	63.0	25.7	11.3	44	1.5
		Dec.	154	27.8	8.3	7.5	36.1	63.9	25.6	10.5	26	
<u>Pinus s.</u>	control	June	104	39.4	16.5	6.3	37.8	44.1	14.4	41.5	8	250
		Dec.	123	40.9	8.9	4.5	45.7	50.2	28.0	21.8	10	
	comp.+	June	128	38.2	9.3	7.8	44.7	52.5	19.7	27.9	22	12
		Dec.	129	36.8	9.6	7.0	46.6	53.6	21.8	24.6	35	
	comp.++	June	150	31.5	6.6	11.0	50.9	61.9	16.5	21.6	120	2
		Dec.	139	38.4	4.1	8.5	49.0	57.5	16.8	25.7	62	
<u>Rhamnella f.</u>	control	June	99	40.8	14.1	11.0	34.1	45.1	17.8	37.1	4	176
		Dec.	92	39.6	18.5	7.5	34.4	41.9	22.2	35.6	2	
	comp.+	June	113	40.5	9.0	10.8	39.7	50.5	23.6	25.9	15	92
		Dec.	128	39.4	5.2	10.0	45.4	55.4	28.9	15.7	19	
	comp.++	June	134	39.0	4.1	11.0	46.9	57.9	19.5	22.6	72	6
		Dec.	133	37.7	4.9	11.0	46.4	57.4	28.0	14.6	32	

* : Measured in Oct.

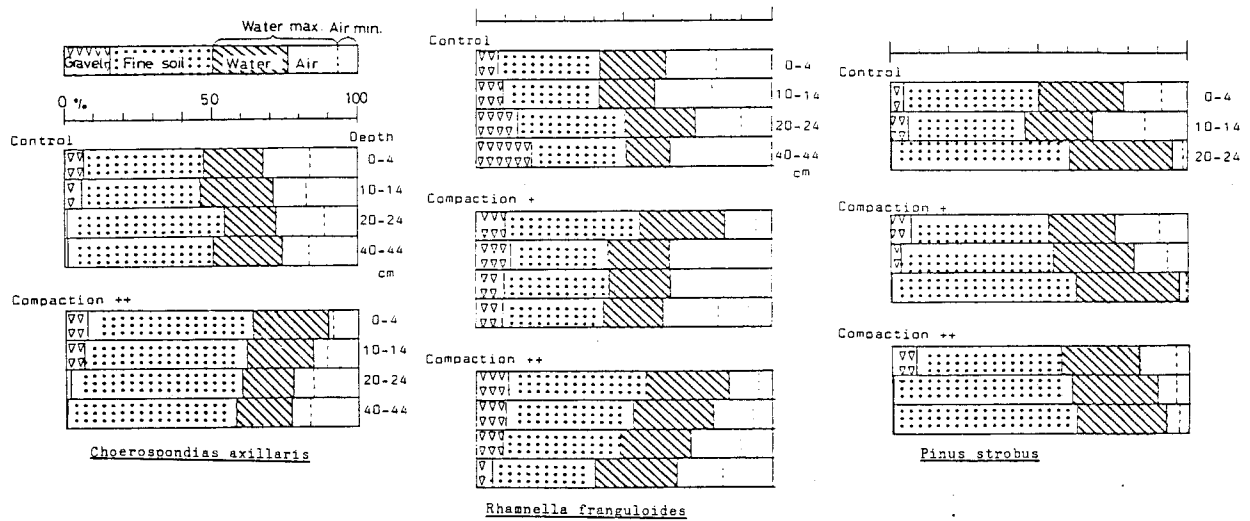


Fig.4.1 Profile of volume composition of each experimental plot.

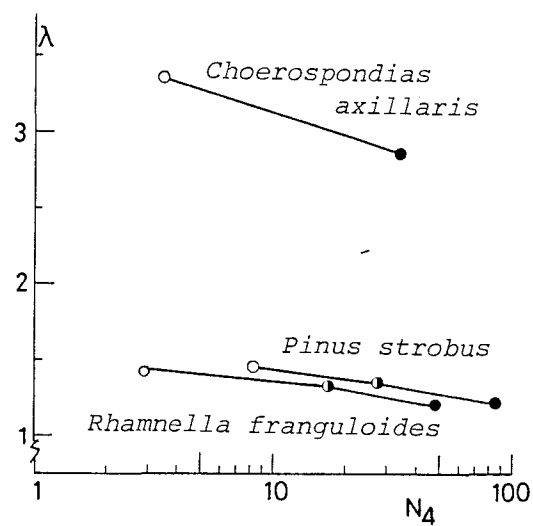


Fig.4.2 Relative growth rate of each species as related to N_4 value of surface soil.

この原因は土壌の種類がちがいによるものか樹種その他の要因によるのかは不明だが、北白川の苗畑は上賀茂より熟畑化が進んで有機物も多い土壌であり（1-4 参照）、有機物は後に述べるように土壌を締固まりにくくすることも関連しているであろう。表層土の N_4 値と浸透能によれば、上賀茂より北白川のち密化の程度が少ない。

根系について、層別に掘り上げた結果を Fig. 4.3 ~5 に示す。チャンチンモドキとストロームマツについては 0.5×0.5 m のコドラート（前者の Cont. 11 個体、Comp.++ 10 個体、後者の Cont. と Comp.++ 5 個体、Comp.+4 個体が含まれた）、ネコノチチは各区 2 個体の全量掘り上げによる結果をそれぞれ径級で分類して示した。チャンチンモドキでは特に表層の細根（2mm 未満）や中根（2~5mm）の割合が加踏圧処理によって減少しているのが注目される。ストロームマツでは Comp.++ の根系の総量が Cont. より大きい、これはサンプルとして選んだ個体が大きかったためで、径級割合に注目すれば、処理によって根系全体に占める細根の割合が減少しているのがわかる。一方、ネコノチチの場合は Comp.+ で表層の細根量が最大で Comp.++ で最小である。

これらの結果から踏圧が加わることにより樹木の生育が抑制される指標として上賀茂の場合は Cont. と Comp.+、北白川の場合は Comp.+ と Comp.++ の境界の土壌密度を求めると、 N_4 値でほぼ 20 となる。容積重や固相率はより細粒質の上賀茂では小さめの値でも抑制するようで、その固相率は上賀茂で 50~52% 北白川で 56~57% 程度である。浸透能は踏圧に対してたいへん鋭敏で、およそ 15 ないし数 10 mm/hr とされる。

この試験では加踏圧処理にともなう生育抑制の傾向はみられたが、処理区間での差は有意でなかった。これは試験期間が短かく 1 生育期間であったためであろう。1-1 で述べた京都御苑での樹木衰退区での N_4 値 30 以上、浸透能 20 mm/hr 未満という値は樹木が生育抑制を受けるに十分な締固まり状況であったと結論できる。

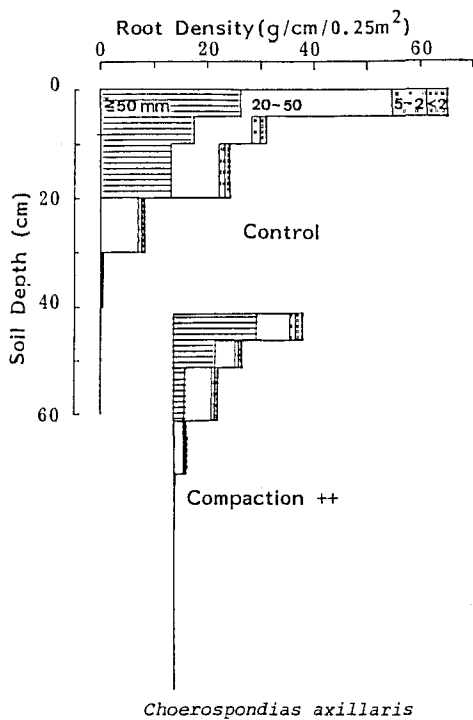


Fig.4.3 Examples of vertical root density distribution. (*Choerospondias a.*)

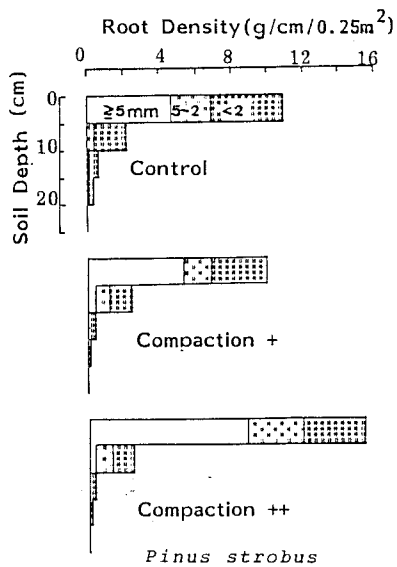


Fig.4.4 Examples of vertical root density distribution. (*Pinus s.*)

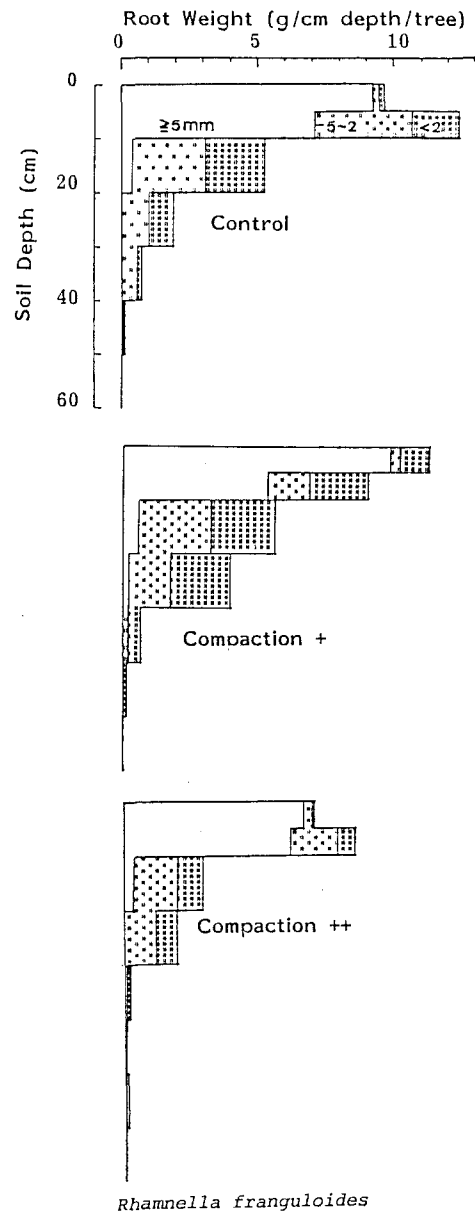


Fig.4.5 Examples of vertical root weight distribution. (average of two trees of *Rhamnella f.*)

4-2 植栽基盤のち密度と2・3の造園樹種の活着・初期生育の関係

前節では、健全な土壌で健全に生育している樹木が踏圧による土壌のち密化にともなって衰退する傾向を確認した。しかし、1-2, 3 で扱った事例は植栽地造成時に重機の踏圧によりち密化した植栽基盤に問題が認められると推察した。すなわち、いわゆる固結土壌への植栽の場合と条件が異なる。そこで、締固め処理を行なった土壌への造園樹木の植栽試験を行ない、活着と初期生育に及ぼす土壌ち密度の影響をみようとした。

(1) 供試樹木

フィリイヌツゲ (*Ilex crenata* Thub. var. *luteovariegata* Regel), セイヨウバクチノキ (*Prunus laurocerasus* L.), ベニカナメ (*Photinia glabra* Maxim. f. *benikaname* hort.) の3種で、いずれも前年にさし木して活着した健全な苗である。

(2) 試験方法

試験地は前節と同じく、京大農学部付属演習林の上賀茂試験地と本部試験地の苗畑で、前者はフィリイヌツゲ(各区20本), セイヨウバクチノキ(各区10本), ベニカナメ(各区10本)を、後者ではベニカナメ(各区10本)を供試した。苗畑土壌の概況は前節のとうりであり、締固め処理も同様の方法を採用して1976年4月上旬に行なった。

供試苗は4月中旬に生重を測定し、直径5cm, 深さ5cm程度の植穴を掘って20~30cm間隔で植栽し、当初の1週間のみ灌水し、その後は一切の管理を行わず、12月に掘り上げ、生重、最大根長、T/R比を測定した。

(3) 試験結果

締固め処理により設定した試験区の土壌物理性は、Tab. 4.3 に示すようであった。この値は6月と12月の平均値であり、上賀茂試験地の場合3区ともほぼ同様の値となったので、さらにそれらの平均値を採用した。締固め処理にともなう土壌物理性の変化傾向は前節とほとんど同様である。試験区のち密度の垂直分布をFig. 4.6 に示す。全般的に上賀茂の方がち密であり、処理による N_4 値の増加はほぼ16cm深まで及んでおり、それ以下では10~20の範囲におさまっている。北白川では20cm以深に影響が及んでいるようだが、 N_4 値は小さく、Comp. ++ でも16cm以深での N_4 値は10以下である。なお、この下層土については1章の事例と比べてかなり N_4 値が小さく、樹木生育に好適と思われる。

樹木の生育状況についてはTab. 4.4 に示した。なお生育経過(データは略)は以下のようである。フィリイヌツゲの基底直径Dと樹高Hはほぼ5月から11月にかけて増加し、Hは8月までDは8月以降によく増加した。セイヨウバクチノキはHがほぼ4~6月にのみ増加し、Dもほぼ夏期までしか生長せず、全般に活着・生育とも不良であった。ベニカナメのHの増加は特に7月から9月にかけて盛んであるが、上賀茂のComp. ++ では生育不良でそのようなピークは見い出せなかった。Dは4月から11月まで徐々に増加している。

Tab.4.3 Surface soil properties of experimental plots.

Site	Treatment	Volume weight g/100cc*	Water max. %*	Air min. %*	Soil hardness Yamanaka N ₄ type kg/cm ³	Water percolation rate cc/min.	Infiltration capacity mm/hr.
Kamigamo	Control	111	43.4	14.3	0.58	4.8	49
	Compaction +	133	40.4	9.0	14.2	26	8
	Compaction ++	144	40.0	5.3	46.4	38	4
Kitashirakawa	Control	97	44.6	17.7	1.4	1.5	49
	Compaction +	118	44.3	10.1	6.4	9.0	10
	Compaction ++	136	40.7	6.4	17.7	21	3

* : Based on volume of fine soil.

** : Average value of June and December.

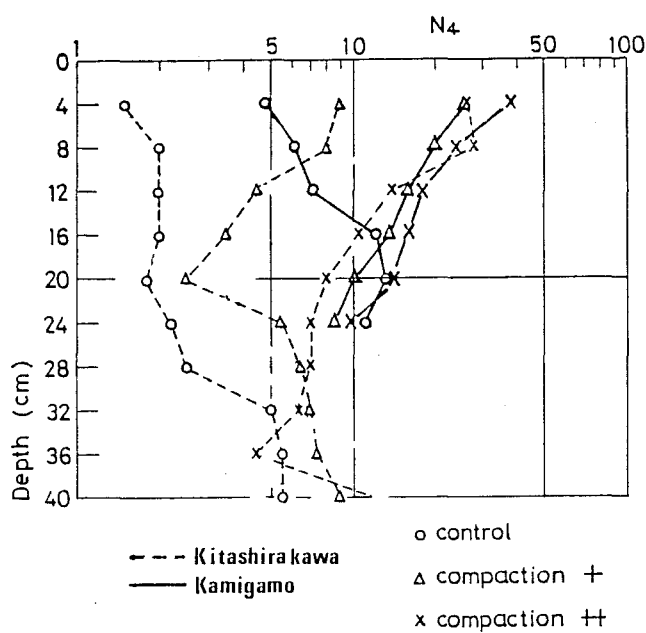


Fig.4.6
N₄ profiles of experimental plots.

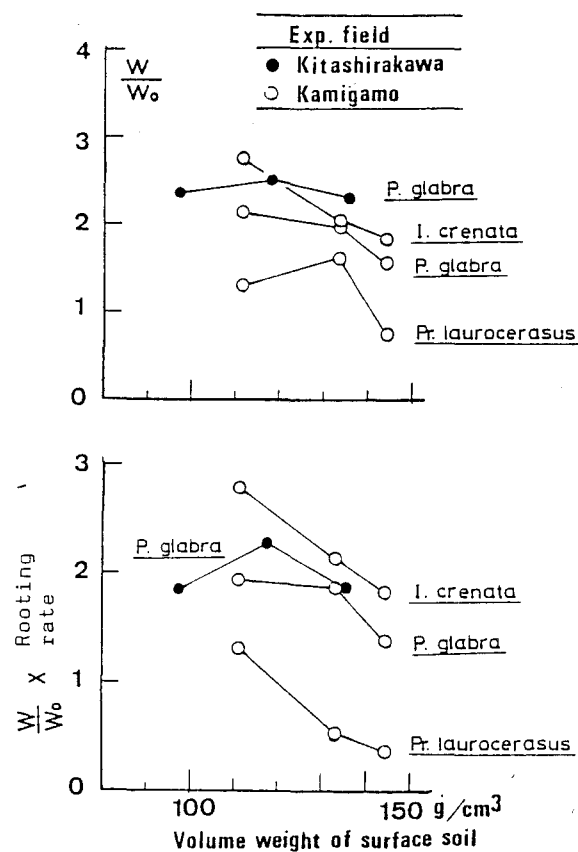


Fig.4.7
Growth of trees as related to surface
soil volume weight.

Tab.4.4 Growth of trees.

Species	Treat- ment	Initial size				Size when harvested				Growth ratio	T/R	Max. root length	Rooting rate
		Diameter		Height		Diameter		Height					
		mean	sd	mean	sd	mean	sd	mean	sd				
		mm		cm		mm		cm				W/Wo	cm
<u>Ilex c.</u>	control	2.48	0.19	10.4	2.01	3.51	0.37	13.4	2.76	2.76	1.10	20.8	100
	comp.+	2.60	0.26	10.8	1.89	3.32	0.37	13.6	2.29	2.05	0.89	22.9	100
	comp.++	2.50	0.20	10.3	1.71	3.10	0.22	12.4	2.39	1.83	0.90	23.1	100
<u>Prunus r.</u>	control	5.91	0.55	16.7	1.73	6.13	0.52	21.3	4.55	1.30	1.17	30.5	100
	comp.+	6.20	0.49	18.7	3.09	6.43	0.53	23.7	3.86	1.60	1.13	28.7	30
	comp.++	5.98	0.48	17.1	2.54	6.08	0.45	20.8	4.49	0.74	1.85	14.4	50
<u>Photinia g.</u>	control	2.63	0.36	5.63	0.89	3.13	0.49	13.7	4.28	2.11	2.56	19.0	90
	comp.+	2.63	0.20	6.50	1.31	3.06	0.21	12.0	2.97	1.93	1.74	13.8	95
	comp.++	2.56	0.33	5.86	1.41	2.85	0.45	8.3	2.00	1.54	1.74	10.9	90
* <u>Photinia g.</u>	control	2.38	0.22	5.06	1.24	2.64	0.20	9.5	3.0	2.33	2.18	20.1	80
	comp.+	2.53	0.29	6.39	1.24	3.14	0.48	12.9	4.5	2.48	2.36	18.8	90
	comp.++	2.50	0.20	5.63	1.02	2.93	0.20	11.5	3.0	2.31	2.70	18.4	80

* In Kitashirakawa. Others in Kamigamo.

生育状況の総合的な評価として、植栽時に生重を測定しているので、個体重（生重）増加比 W/W_0 （ W ：掘り上げ時個体重， W_0 ：植栽時個体重），およびこの値に活着率を乗じた値を用いて表層土ち密度（容積重）との関係をみたのがFig.4.7である。これによると、上賀茂の場合は右下がりないしそれが目立つ山型のグラフが得られ、表層土容積重が増加するほど、特に130g/100ccをこえると、生育が抑制される現象を示している。いっぽう、北白川の場合はComp.+にややピークのある山型となったが、 W/W_0 の値は処理間で統計的に有意な差は得られなかった。これらの傾向を総合的にみると、容積重 130程度（ N_4 値で20程度）まではち密度による生育抑制は明らかでなく、やや粗粒質である北白川のような例ではむしろ適度の転圧が好ましいとも考えられ、容積重でほぼ140（ N_4 値で30程度）をこえると生育抑制の傾向が現われることが示唆できる。

つぎに T/R 比に関しては、前節の健全な樹木の周囲への加踏圧処理試験結果と同様に、ち密度の及ぼす影響はまちまちで、一定の傾向は認められなかった。しかし、根系量と最大根長との関係はFig.4.8に示したように個体重増加比にほとんど差のなかった北白川のカナメモチを除いて処理によって差が生じている。上賀茂のカナメモチとセイヨウバクチノキでは処理により根系量も最大根長も小さくなっており、フィリイヌツゲでは最大根長の抑制は少ない。観察によれば、イヌツゲの根系（細根）はたいへん細く、ち密土でもわずかな亀裂に伸長可能と思われるが、セイヨウバクチノキやカナメモチ（特に後者）の細根（いわゆる白根）は太いため、ち密土の根系伸長に対する機械的抵抗を受けやすいと思われること、などがこの結果をもたらしたのだろう。

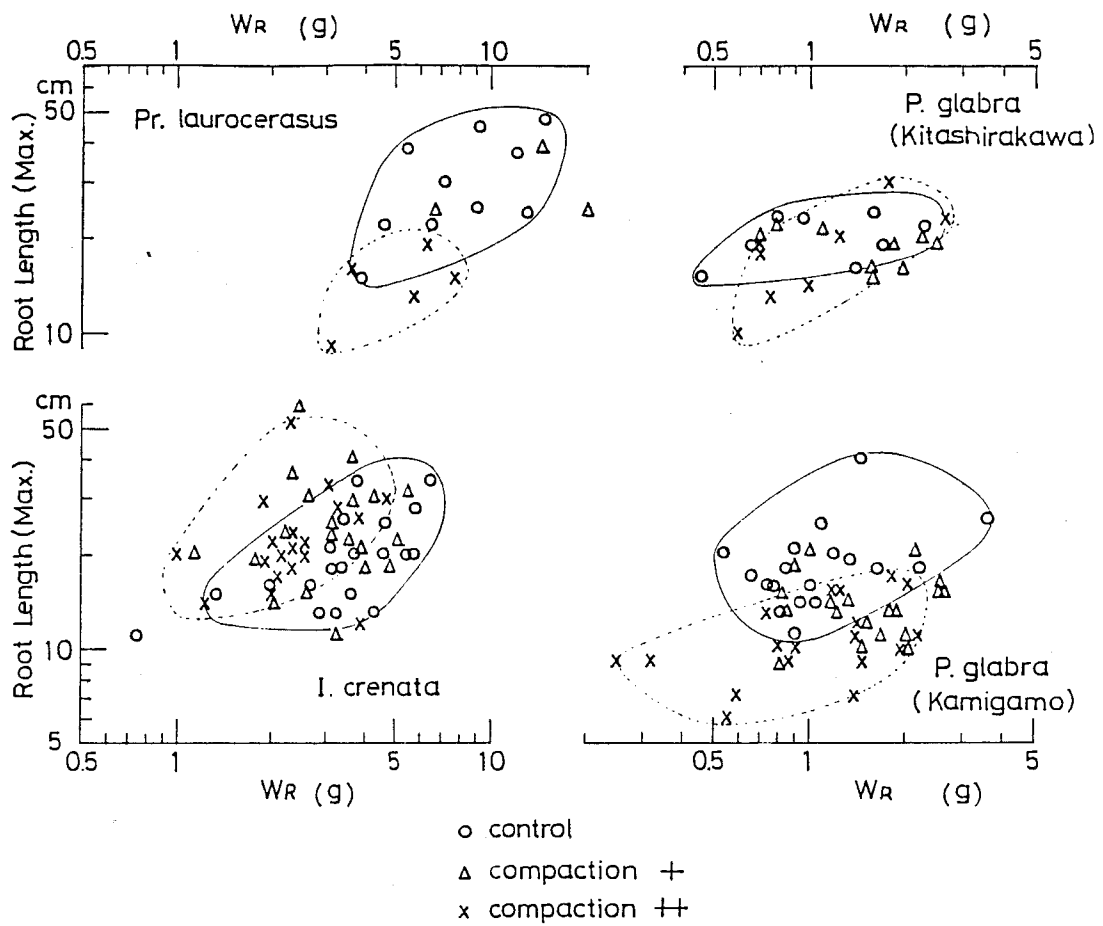


Fig.4.8 Relations between root weight and maximum root length.

4-3 排水不良条件での土壌ち密度とマツバボタンの生育の関連

すでに3章で述べたように、降水量の多い日本の気候のもとでは、ち密土壌は排水不良や通気不良となりやすく、ち密土壌における樹木の生育不良は根系伸長に及ぼす機械的な抵抗のみならず、土壌の通気不良によって生じる場合も少なくないと思われる。したがって、同じち密度でも水分量や空気量によって樹木に対する影響は異なるであろう。

そこで、排水不良条件下におけるち密土壌が植物生育におよぼす影響をみるために以下のような試験を行なった。

(1) 試験方法

排水不良条件として地下水位をFig.4.9のような方法で設定した。地下水から毛管による水の上昇がスムーズに行なわれる範囲にとどめるため、水位は-25cm(低水位区)と-12cm(高水位区)とした。

植物を育成する土層全体のち密度を処理すれば、ち密な試験区では透水係数が小さいため水の供給が遅れるので、晴天が続けば過湿条件が一定に保てないと予想されたため、薄い土壌コアによる試験とした。さらに、本試験は過湿条件とち密度を変数とするので、地下水位までの土層厚が根圏土層として植物生育に影響を与えるのをさけるために、薄い土層で生育可能なマツバボタン (*Portulaca grandiflora* Hook) とした。

土壌コアは塩ビ製円筒(内径8cm 高さ 4.5cm)に5mm 目のふるいを通した土壌を充填して作成し、下部はナイロンメッシュで下部の給水土柱と水理学的連続性を保つように注意して密着させた。供試土は京都北白川産の畑土(花崗岩起源の沖積土)であり、充填の程度により対照区(Cont.), 締め固め++(Comp. ++, ++)の3段階にち密度を設定した。このコアを各区 4個ずつ計24個作成し、各区 1個は土壌硬度測定用に供し、残り 3個にはそれぞれ10粒ずつマツバボタンを播種し、発芽が早く正常なもの 2個体ずつ各区 6個体を供試し、他は間引いた。播種は土壌コアへの影響を最小限におさえるよう注意した。

この装置は京都大学農学部建物屋上(京都市左京区北白川)に設置した。播種は1976年 6月29日、刈取りは 8月30日に行ない乾重を測定した。土壌コアは塩ビ円筒のまま最大含水量、最小容気量、容積重などの物理性を求める一連の操作に供した。なお飽和透水係数は自作の定水位試験装置(水位差5cm)で求めた。なお、試験終了時には開始時に比べて土壌コアの容積の変動がみられたので、ノギスで10か所の変異量を測定し、容積重の増減を調べた。これら物理性は 3個の平均値を採用した。

(2) 試験結果と考察

A. 土壌コアの物理性

土壌コアの物理性をTab. 4.5 に示す。ち密度はコア作成時と試験終了時で変化し、Cont. でかなり、Comp. + でも少し容積重の増加がみられる。これは雨滴の衝撃や降雨時の水分浸透に関係しているのであろう。造成初期にみられるち密化減少（1-4 参照）と同種のものと思われる。ただし水分状態が過湿のためか、山中式による土壌硬度は減少している。また、固相率は同じでも低水位区より高水位区の硬度が小さくなっているのも過湿のためである。

この試験装置は蒸発散と降水を防いで平衡状態になれば、土壌コアのpF値は低水位区で 1.4、高水位区で 1.1という過湿状態となるはずであり、試験終了時の水分状態はほぼこの値である。

締固め処理によって、土壌コアの3層組成は固相増加と気相減少が顕著であり、また高水位区の方が液層が大で気相が小となっている。特に高水位区ではCont. でも気相は低水位区Comp. + よりも少なく、Comp. ++ ではわずか3%しかなく、飽水状態に近い。透水係数も締固め処理で低下しているのは当然だが固相率が同程度でも高水位区の方が低水位区より明らかに低下しているのは注目すべきであり、その原因は明確でないが、過湿状態が透水不良を助長するという、いわば悪循環的な傾向がみられる。

B. マツバボタンの生長

マツバボタンの苗長の生長経過はFig. 4.10に示したとうりで、すべての時点で低水位区の生長がよい。また初期の 7月18日を除けば容積重（開始時と終了時の値から各時点の値を推定してある）に対する生育感応は低水位区で最適曲線、高水位区で減少曲線となる傾向が一定している。

8月30日の刈取り結果はTab. 4.6 に示した。個体重の平均値は低水位区がすべての高水位区を上まわり、地下水位が-12cmでは過湿害がたいへん大きいことを示している。この試験では低水位区のComp. + で最も生育がよく、ほぼ正常な生育を示したが、他は多かれ少なかれ生育は抑制されている。、開花数に関してもほぼ同様の傾向であった。

土壌コアの土壌硬度とマツバボタンの生育の関係をFig. 4.11に示す。低水位区では明らかな凸型であり最適ち密度が存在するようである。しかし、高水位区ではそれが不明瞭で、むしろ土壌硬度が小さい方ほど生育低下が少ない。高水位区Comp. ++ では特に生育が制限されている。このち密度は容積重や固相率で表現すると、地下水位による差はほとんどない。かりに山中式硬度が根系伸長に対する土壌の機械的抵抗値を表現しているとすれば、ち密土壌における生育抑制が単にその抵抗のみでもたらされるのではなく、過湿地では通気条件を媒介として作用していることを示している。

さらに低水位区で最適ち密度が存在する現象は、ち密化による水分供給上の有利性と気相減少による酸素供給上の不利性のバランスによって生じるのであろう。本試験の場合、気相が6%を下まわるとマツバボタンの生育が極度に低下したのである。

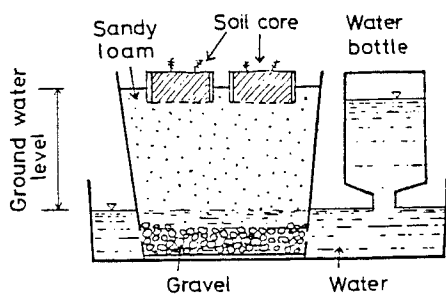


Fig.4.9 Experimental apparatus.

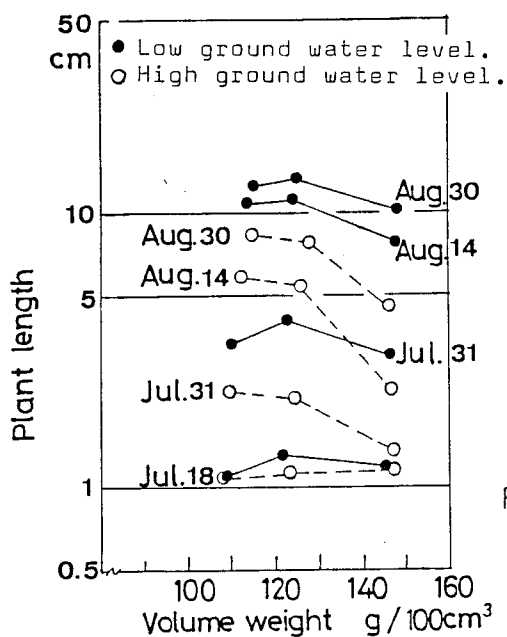


Fig.4.10 Growth of plant length as related volume weight of each soil core.

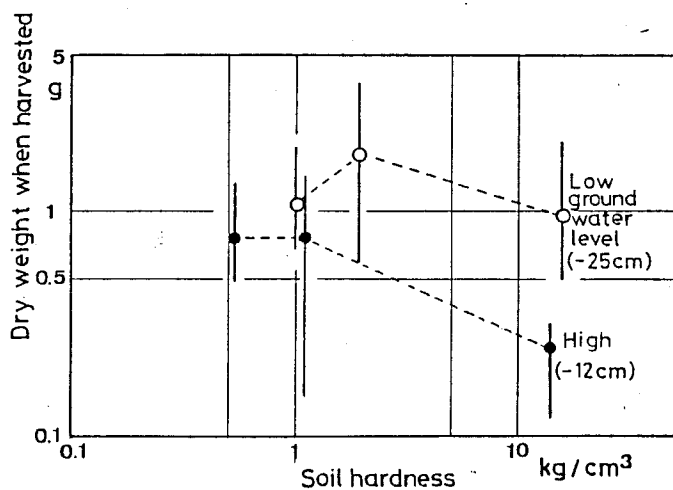


Fig.4.11 Plant growth in dry weight as related to soil hardness.

Tab.4.5 Soil conditions of each treatment.

Treatment		Soil Conditions											
		Initial properties			Properties when harvested								
Ground water level	Compaction	Volume weight g/100cm ³	Soil hardness (Yamanaka type) mm kgf/cm ³		Volume weight g/100cm ³	Soil hardness mm kgf/cm ³		Three phase distribution %			Water max.	Air min.	Saturated permeability cm/sec
Low (+25cm)	Control	105	8.5	1.0	114	4.0	0.32	44	30	26	43	13	3.1×10 ⁻²
	Comp. +	120	11.5	1.9	125	7.4	0.81	48	33	19	44	8	9.6×10 ⁻³
	Comp. ++	144	22.5	15.8	148	20.3	10.0	57	37	6	39	4	2.0×10 ⁻⁴
High (-12cm)	Control	104	5.7	0.53	115	3.2	0.24	45	40	15	45	10	5.0×10 ⁻³
	Comp. +	122	9.0	1.1	128	5.8	0.30	50	44	6	45	5	9.0×10 ⁻⁴
	Comp. ++	148	22.0	14.2	146	18.0	6.4	57	40	3	40	3	1.0×10 ⁻⁴

Tab.4.6 Plant growth of each treatment.

Treatment		Plant growth			
Ground water level	Compaction	Dry weight of individual (g)			Number of flowers per individual*
		mean	min.	max.	
Low(-25cm)	Control	1.08	0.67	1.95	2.2
	Comp.+	1.80	0.60	3.74	2.8
	Comp.++	0.963	0.50	2.10	1.5
High(-12cm)	Control	0.775	0.50	1.37	1.8
	Comp.+	0.778	0.15	1.48	1.2
	Comp.++	0.245	0.12	0.32	0.8

* Aug. 30

以上にみられたような、ち密土壌におけるマツバボタンの生育抑制が排水不良条件によってさらに強く生じる現象は、一般の緑地樹木の場合でも生じるであろうことは十分予想できる。前章で述べた万国博記念公園における土壌ち密度および地下水位は本試験で設定した地下水位のレベルやち密度が造成地の場合は特殊なものでないことを示しており、排水不良地でのち密土壌対策が必要といえる。その場合、ち密度の把握法としては土壌硬度は適当でないようである。なぜなら本試験における硬度が他の事例と比較して、特に大きいとはいえず、むしろ高水位区では小さいといえる。固相率でみると45~50%、容積重で $115 \sim 128 \text{ g/100 cm}^3$ くらいに最適ち密度がある。さらに過湿条件を気相率でみて低水位区の Comp. 率を不良と考えると、その値は15% 以下であった。土壌の種類や樹種によっても変動するであろうが、これらの値より排水不良なち密土壌は樹木の生育不良をまねく恐れが強いといえよう。

4-4 薄いマサ土層ち密度とマテバシイおよびナンキンハゼの活着・初期生育の関係

前節までに土層ち密度と樹木生育の関連を苗畑や過湿条件下で調べてきた。しかし、現実の植栽現場である造成地は盛土厚が少なかったり、特に関西地方では保水性に欠ける粗粒マサ土が用いられ、夏期には過乾となり樹木の活着や生育に悪影響を与えることもまれでないと思われる。

そこで、薄い土層を粗粒マサ土で設定し、そのち密度を変えて樹木苗木の植栽試験を行った。さきの排水不良条件下における実験に対して、乾燥しやすい条件下における実験を意図したわけである。

(1) 試験方法

Fig. 4.12に示したような塩ビ製の角型ポットを用い、底に5cmの厚さに砂利を敷いて排水層とし、その上に5mm目のふるいを通したマサ土を充填した。土層厚は15cm, 25cm, 35cmの3段階である。土層ち密度は、特に締固めないCont. (山中式指標硬度で4mm)と、人力、突き棒で指標硬度15mmとなるように締固めつつ充填したComp. +区と、同じく20.5mmのComp. ++区の3段階とした。充填にあたっては下層から表層まで均一となるよう留意した。これらの組あわせ9種類のポットを3個ずつ計27ポット作成し各区3個のポットのうち1つにはマテバシイ (*Pasania edulis* Makino, 実生 2年生苗) を、1つにはナンキンハゼ (*Sapium sebiferum* Roxb., 実生 1年生苗) をそれぞれ10本ずつ植栽し、残りの1つには誘電式土壌水分計 (大起理化製) のセンサーを深さ10cmに、ただし35cm区には深さ25cmにも埋設した。これらのポットは京都大学演習林上賀茂試験地内の空地に設置した。

供試苗は根を水洗して生体重を測定し、各区に著しい変動がないようにした。植栽にあたっては締固めたところの攪乱を最小限におさえるために植穴は直径5cm 深さ10cmにとどめた。植栽は1976年10月5日で、植栽時およびその後1週間に2回の灌水を行なったほかは一切の灌水を行なわなかった。

植栽翌年1977年5, 6月に100cc サンプラーでポット土壌を採取して物理性の測定を行なった。7月には梅雨明けの降雨後1日目の6日と盛夏の乾燥時である24日に深さ5cm 毎に土壌を5~10g ずつ採取して含水比を求め、この間、誘電式土壌水分計で連続記録をとった。

この夏期の時点で供試木に枯死個体が生じ、また全般的に生育不良であった。翌、1978年の夏期にも一部に枯死個体が生じ、さらにほとんどすべての供試木に初期萎凋がみられ、大多数の枯死の危険を避けるため、8月15日で試験を終了し、掘上げた。さらにポット内に自然侵入した雑草群落も同時に刈取り、現存量を測定した。

(2) 試験結果と考察

A. 土壌条件

ポットの土壌の物理性をTab.4.7に示す。2年目は1年目より容積重や固相率および山中式硬度がわずかではあるが、いずれも低下しており、最大容水量増大、最小容気量減少、透水性向上の傾向もみられ、雑草侵入などによる土壌化作用の傾向とも考えられる。梅雨明け第1日目の湿潤時と盛夏の乾燥時における土壌水分量の垂直分布のパターンとポットの貯水量および湿潤時と乾燥時の貯水量の差をFig.4.13に示す。これによれば、いずれも乾燥時にはたいへん水分量は少なく、供試木の根系は、せいぜい10~15cm深までと思われるので、ほぼ水分量10%未満の強い乾燥ストレスがかかっているものと考えられる。また水分量は土層厚が薄いほど湿潤時で大きく、かつ乾燥時で小さく、したがって変動が大きくなる。締固め処理による水分量の差は大きくないが、やや処理区の方が貯水量が大きく湿潤時と乾燥時の差も大きい傾向がある。

つぎに水分量の連続記録をFig.4.14に示す。この測定に用いた誘電式土壌水分計は土中に埋設した電極間に高周波を発信し、土壌水分によってきまる静電容量による電位変化を検出しようとするものであり、土壌溶液濃度や地温の変化が大きいと検出値が変動する。実際に使用してみると地温の変化にともなう変動が意外に大きく、晴天時には日変化がみられた。したがってキャリブレーションは温度も考慮する必要があるので、図に示した夏期にのみ測定し、電位検出値は朝7時ごろの温度条件がほぼ同一のときの値のみ採用した。図は梅雨明けからの乾燥過程を示している。

15cm区についてみると、最初の3日間における減少が著しく、その後は25cm、35cm区と同程度の含水比となっている。また締固め処理が大きいほど湿潤である傾向があり、これを容積水分率で表現すると、さらにこの傾向がより明確となる。35cm区では25cm深でも測定したが10cm深より変動が少なく、かつ湿潤である。しかし堀上げ時の供試木の根系の伸長状況から考えて、10cm深の水分条件がより直接的に供試木に影響を与えているものと考えられる。7月16日の雷雨によって、いずれのポットも少し含水比が回復したが、3~4日でまた降雨前の状態にもどっている。このようにマサ土の表層10cmくらいは土層厚にかかわらず、夏期乾燥時には含水比5%前後のたいへんな乾燥状態となっている。しかし25cm以深では乾燥時でも10cm深の約1.5~2倍程度の含水比を保っている。

B. 樹木の生育

堀上げ時に同時に測定した雑草群落の現存量と土壌密度(容積重)との関係をFig.4.15に示す。雑草はアキメヒシバ(*Digitaria violascens* Link)を主とし、周囲から自然侵入したもので、雑草種子の散布状況に関して、各ポット間で大幅な差があるとは思えず、現存量の差はポット土壌の特性によると考えてよいだろう。図によれば、15cm区では容積重とほぼ無関係に現存量は少なく、25cmおよび35cm区では両者とも容積重と現存量は負の相関関係が明確である。

一方、樹木の生育状況はTab.4.7に示したとうりであり、Fig.4.16には活着個体の平均

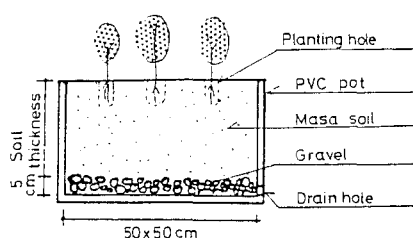


Fig.4.12 Structure of PVC pot.

Tab.4.7 Soil physical properties of each treatment.

(Hardness is of surface soil. other properties are of 10cm depth.)

Year	Treatment	Volume Weight g/100cm ³	Three phase distribution %			Water max. %	Air min. %	Saturated permeability cm/sec	Soil hardness	
			Solid	Water	Air				Yamanaka mm	N ₄
1977*	Control	137	53.1	13.8	33.2	28.4	18.6	1.0×10^{-3}	5.7	0.7
May & June	Compaction +	159	61.4	18.1	20.6	30.4	8.2	6.3×10^{-4}	16.3	6.5
	Compaction ++	163	63.1	17.3	19.7	29.2	7.7	5.4×10^{-4}	18.8	12.3
1978**	Control	127	49.2	9.7	41.1	35.3	15.5	2.4×10^{-2}	4.7	3.1
Aug.	Compaction +	148	57.4	9.3	33.3	34.5	8.1	5.5×10^{-4}	15.8	14.3
	Compaction ++	161	62.4	10.7	26.9	33.8	3.8	1.8×10^{-3}	18.7	22.0

* Mean values of 8 samples for each treatment.

** Mean values of 3 samples for each treatment.

*** In October 1976, Masado soil was filled to show the soil hardness, by Yamanaka method, of 4mm, 15mm and 20.5mm for each Control, Compaction + and Compaction++ pot respectively.

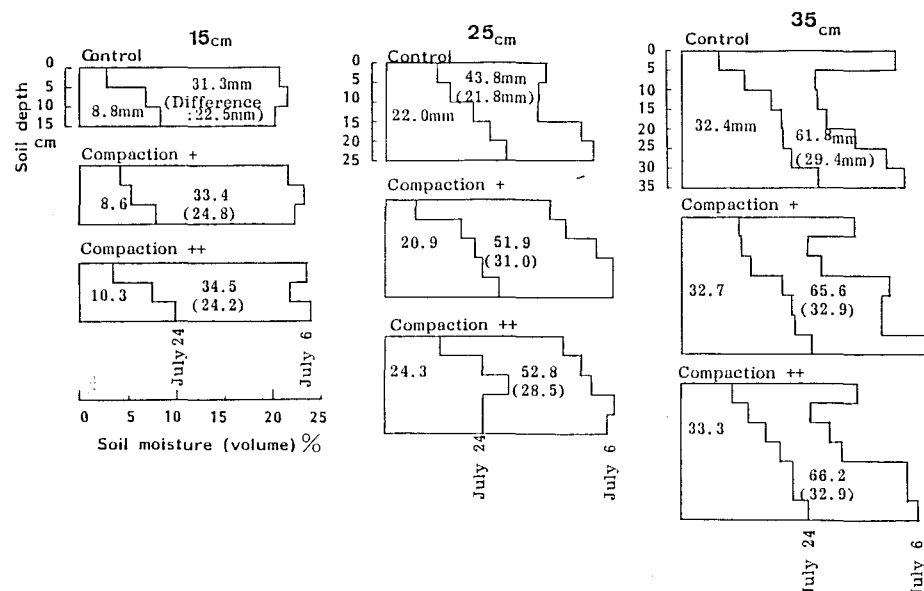


Fig.4.13 Soil water at one day after the end of rainy season(July 6)and a day in dry season(July 24).

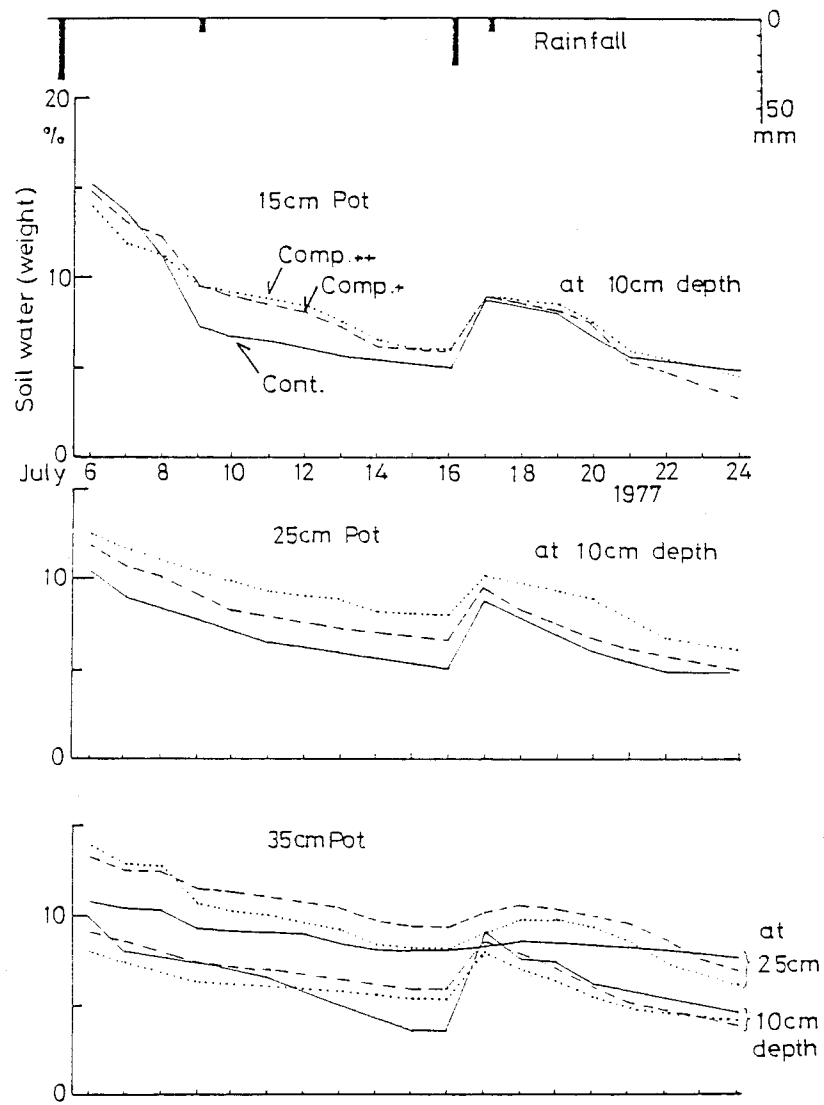


Fig.4.14 Change of soil water in each pot after the end of the rainy season.

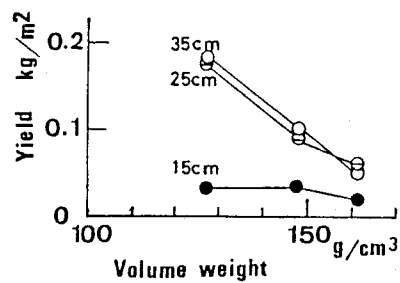


Fig.4.15 Above-ground biomass of weed community as related to soil volume weight and soil depth.

Tab.4.8 Tree growth of each treatment.

Treatment		Weight* when planted(g)		Rooting rate (%)	Weight(g) when harvested		Growth ratio in weight**
Soil thickness	Compaction	mean	sd		mean	sd	
<u>Passania edulis</u>							
15 cm	Control	6.78	2.92	20	8.80	4.69	0.95
	Comp. +	6.24	1.90	50	6.26	2.13	0.92
	Comp. ++	7.20	1.96	90	9.04	3.29	1.26
25 cm	Control	5.71	1.52	40	4.40	1.11	0.86
	Comp. +	6.55	2.00	80	7.33	3.33	1.08
	Comp. ++	7.03	1.58	80	7.81	2.65	1.10
35 cm	Control	6.87	2.04	80	6.36	1.44	0.97
	Comp. +	6.72	2.24	60	5.08	1.78	0.74
	Comp. ++	6.31	1.82	50	5.80	1.37	0.90
<u>Sapium sebiferum</u>							
15 cm	Control	4.49	2.00	100	5.11	2.25	1.17
	Comp. +	3.58	1.24	80	5.18	1.75	1.44
	Comp. ++	4.30	2.13	80	5.44	2.38	1.31
25 cm	Control	4.36	2.24	80	7.84	3.67	1.64
	Comp. +	4.64	1.57	100	4.76	2.64	0.96
	Comp. ++	4.00	1.74	100	5.57	2.90	1.38
35 cm	Control	4.20	2.02	80	5.11	2.92	0.89
	Comp. +	5.21	2.49	90	7.36	3.93	1.13
	Comp. ++	4.28	0.84	90	4.70	2.03	1.18

* Dry matter estimated by fresh weight and dry matter ratio.

**Mean value of rooted plants.

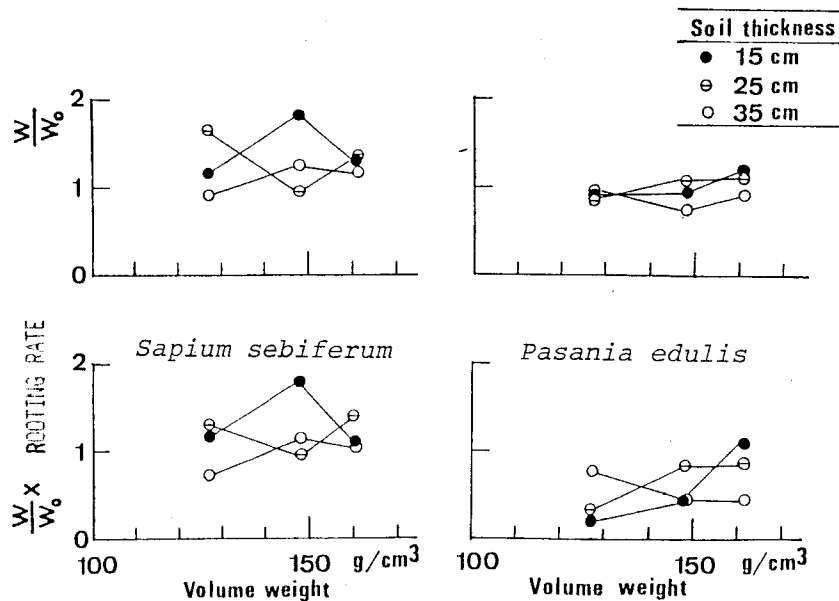


Fig.4.16 Tree growth as related to soil volume weight and thickness.

生長比およびその値に活着率を乗じた値を容積重との関係で示した。このように、全般的に生育が悪く、特にマテバシイでは活着率も不良で生長比も1未満（減少している）のものもまれでない。このような生育状況であるから土層厚や締固め処理の影響は明確とはいえない。しかし有意差はないが、マテバシイではち密なほど、ナンキンハゼでもCont.よりはち密な方が生育がよい（もしくは衰退の程度が少ない）傾向も否定できず、少なくともCont.が最良ではない。この結果はつぎのような理由で生じたと推察される。

すなわち、表層10cm深程度までの乾燥時の水分量が土層厚によって大幅にはちがわないこと、しかし、やや締固め処理区の含水比が高いこと、乾燥状況がきびしく、その時の水分状態が生育を大きく左右するであろうこと、貧栄養のマサ土のため乾燥時以外の生育も悪く、根系もせいぜい10～15cm深しか伸長していないこと、これらによってち密度や土層厚の影響が明確とはならなかったと考えられる。しかるに雑草群落は貧栄養状態における生育も速やかで、根系も土層厚を有効に利用し得たため、ち密度と土層厚が現存量に反映したのであろう。

以上の結果から乾燥状態にある薄いマサ盛土ではある程度締固まった方が保水性が向上し、活着に有利である可能性があるが、25cmをこえる土層では水分量も多いため、根系もそれだけ伸長しているならち密度の少ない方が有利と思われる。なお、樹木植栽用としてはマサ土の35cm土層は土層の締固まりに留意しても、天水のみの場合は不十分といえよう。

4-5 土壌ち密度と樹木生育の関連に関する考察

造園・緑地樹木を用いた土壌ち密度が樹木生育に及ぼす影響に関する実験的、試験的な研究はたいへん少ない。本章で述べた試験研究も設定したち密度の範囲、供試土の種類、供試樹種、水分環境、有効土層厚、樹木の大きさ、試験期間など、検討すべき様々な造園的条件の点で不十分である。しかし、前章の多くの調査研究では土壌ち密度が重要な樹木生育制限要因であると推察されている。そこで、前節までに得られた結果とともに、土壌のち密度に関する基礎的な試験が比較的行なわれている作物の例も参考にして、土壌ち密度の意義について考察を加える。

(1) ち密度による根系の生育限界

土壌のち密さを容積重で表現すると、作物根の生育は土性によって差があり、細粒質土では粗粒質土に比べて小さい容積重で根の伸長がとまる。総じて $160\sim 190\text{g}/100\text{cm}^3$ (原土) が限界とみられる¹⁻⁴⁾。土壌がち密であることによる根の生育限界は、根が伸長する力と土壌の抵抗の関係できまると考えることができる。この点を確かめるためには土壌ち密度を硬度で表現する方が土性による差異が少なくなるかどうかを調べればよい。Taylorら⁵⁻⁷⁾はワタ幼植物を用いてち密な土壌コアで育成し、直根がコアを貫入する割合を調べ、同じ容積重でも土壌水分張力の差異による硬度の差異があると根の貫入率が変化したとし、これによって土壌硬度が根の貫入率に対するクリティカルな要因であると結論し、自作のペネトロメーターで測定された根の生育限界は 29.6bar ⁵⁾、 25bar ⁷⁾であったという。

Barley⁸⁾は $10\sim 70\mu$ のビーズ球を使った模型土壌で充填した三軸圧縮試験装置にトウモロコシの幼根を入れて圧縮し、せん断抵抗が $0.3\text{kg}/\text{cm}^2$ をこえると根の生長がとまることを報告した。

また、loam top soilを用いて行なわれた実験 (Barleyら)⁹⁾で根のようにきわめて細いペネトロメーターで測定した Point resistance および気相率と根の伸長の関係を調べ、回帰式を求められている。

日本の畑土壌生産力に関する協議会¹⁰⁾では硬度測定に山中式硬度計を用いて、いわゆる有効土層を「基岩、盤層、硬い緻密層 (硬度計の指標硬度 29mm 以上でおおむね 10cm 以上) あるいは厚い未風化層までの土層の深さ」と規定している。また、松尾¹¹⁾は作物根の生長は 25mm 以上で著しく阻害されるという。水稻の場合、湛水下の硬度 23mm で根の生育がとまったという¹²⁾。三好¹³⁾は多くの畑作物の根群発達が良好なのは $21\sim 22\text{mm}$ までとし、さきの 29mm は全く根が侵入しない硬度で、肥沃度分級上の意味は少ないという。また、温州ミカンの場合、古賀¹⁴⁾は根系伸長限界は中粒質土で $25\sim 27\text{mm}$ 、細粒質土で 24mm としている。

なお、土壌硬度は水分や空気量、通気・透水性とも相関をもつからこれらの測定値がす

べて根の伸長力と土壌の機械的抵抗のバランスを示しているかどうかは疑問が残る。

(2) 土壌硬度が樹木生育に及ぼす影響

夏ミカンの苗を用いて山中式絶対硬度(kg/cm^3)で 1-1.4, 18-20, 55-57, 70-74の4区で育成試験を行なった例¹⁵⁾では前2者より後2者の生育が劣ったという。指標硬度(mm)ではそれぞれ約 8.5-10, 23-23.5, 27.5, 28.5となる。街路樹のイチヨウ、プラタナスの生育は $28 \text{ kg}/\text{cm}^3$ (25mm)以上で抑制される¹⁶⁾。このように土壌がある硬度をこえると生育が押えられるのは明らかである。1~3章に述べた緑地における調査研究では樹木生育不良要因として、4値で表現された土壌の硬度や容積重、固相率など密度をあげた。

しかし、実際に植栽する場合には樹木の活着・初期生育は土壌の密度は小さいほど良好とはいえず、最適値が存在するようである。本章で述べた試験研究はそれを示唆するし、北村ら¹⁷⁾も土壌の山中式硬度(mm)12, 23-25, 30-31の3段階のうち中間でオトメツバキ、イチヨウの生育が最もよかったという。

のり面緑化の主要草種であるケンタッキー31フェスクについても山寺¹⁸⁾は低硬度と高硬度の両方で生育が劣ったという。美園ら¹⁹⁾も関東ロームの畑において、ある程度の転圧が作物の収量を増加させ、この原因は水分吸収がスムーズに行なわれることによるという。また、土壌の圧縮が有効水分量を増加させる場合も報告されている²⁰⁾。低硬度における生育の阻害は根系と土壌の接触がうまく行なわれないことと、粗大な孔隙が多すぎて保水性に欠けることによって生じると考えられる。したがって特に樹木の植栽時など攪乱によって粗大孔隙が生じる時、粗粒の植栽用土の場合にこの問題が発生しやすいであろう。発達した森林土壌表層の密度はきわめて低い、すでに生育している樹木については保水性不良を招いて生育不良をもたらすとは思えない。

このような水分環境、および土壌通気条件を媒介とした土壌硬度の樹木に及ぼす影響は高硬度領域でも考えられる。レモン苗をテンションメーターによって一定の灌水量管理を行ないつつ栽培すると土壌の容積重(g/cm^3)1.43と1.59の間に生育の差はみられず、灌水量とのみ相関がみられたという報告²¹⁾もある。また、本章でも土壌の密度は排水不良条件下では特に、気相の大幅な減少を招いて植物生育を大きく抑制することを述べた。

さらに、密度による化学性の変化も樹木に影響を及ぼすとする報告もある。Light chalky soilでは、密度が土壌呼吸による炭酸ガス集積をもたらし、土壌水分に溶けてpHが低下しリン酸の可給態化がもたらされたという好ましい例²²⁾もある。しかし酸性土壌における炭酸ガス集積は好ましいことではない。Flockerら²³⁾は密度土でトマト苗によるリン酸吸収阻害が生じることを報告し、川村ら²⁴⁾はリン酸(過石)の供給によって、イネ科植物などの密度土における生育増進がみられるとしている。

このように、土壌密度は根系伸長に対する機械的な抵抗値のみならず総合的な土壌環境を反映している。

本章に述べた土壌硬度が樹木の生育に及ぼす関係は樹種や土壌の種類その他の条件の点で十分とはいえないが、おおむねFig.4.17のようになると考えられる。

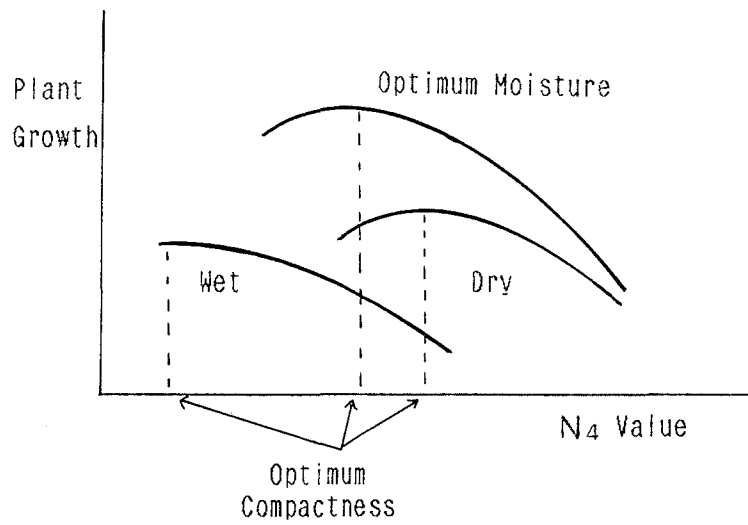


Fig.4.17 Schematic growth response of trans-planted trees as related to N_4 .

4-6 総括

本章では土壌ち密度が樹木生育に及ぼす影響に関する試験研究と考察を述べた。それらをまとめれば以下のようなものである。

踏圧は表層土を固結化させ、健全な樹木の生育を抑制する。その土壌条件は N_4 値で20以上、固相率では上賀茂(母岩:粘板岩)で50~52%、北白川(花崗岩起源の沖積土)で56~57%以上と推察した。

しかし植栽時においては粗しょうな土壌はかならずしも有利ではなく、保水性の不良な粗粒質土の場合は N_4 値で20程度までは軋圧が好ましく、30をこえると生育抑制が明らかとなる。

排水不良条件においては地下水位が低いと最適ち密度が存在するが、高い場合には全く締固めない時に生育最大となる。このような過湿地では土壌硬度が低く、したがって根系の伸長が機械的に抑制されているのではなく、ち密化が特に気相を減少させ、さらに高地下水位区でより透水係数が低下し、通気不良が生育を抑制すると考えられる。生育不良区は気相率15%以下であった。

保水性に欠ける薄い(35cm以下)マサ土は樹木生育に不十分であるが、そのようなマサ土層の土壌水分は10cm深ではち密な方が変動が少なく湿っているため乾燥時に有利と思われるが、25cm深ではち密な方が変動大で深くまで乾燥が進行しやすいと考えられる。雑草群落は15cmの土層ではち密度にかかわらず生育が悪いが、25cm以上ではち密化とともに生育は抑制される。

また、土壌ち密度が樹木生育に及ぼす影響について他の報告例も加えて検討し、根系伸長限界を示す指標としての土壌ち密度の意義、樹木植栽においてはその成績が土壌ち密度に対して最適値をもつことを論じた。

文 献

- 1) Veihemeyer, E. J. et al (1947): Soil density as a factor in determining the permanent wilting percentage. Soil Sci. 62:451-456.
- 2) ———— et al (1948): Soil density and root penetration. Soil Sci. 65:487—
- 3) Zimmerman, R. P. • Kardos, L. T. (1961): Effect of bulk density on root growth. Soil Sci. 91:280-288.
- 4) Trowse, Jr. A. C. et al (1961): Some effects of soil compaction on the development of sugar cane roots. Soil Sci. 91:208-217.

- 5) Taylor, H.M., • Gardner, H.R. (1963): Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. *Soil Sci.* **96**:153-156.
- 6) ——— • Burnett, E (1964) : Influence of soil strength on the root growth habits of plants. *Soil Sci.* **98**:174-180.
- 7) ——— et al (1966): Soil strength-root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. *Soil Sci.* **102**:18-22.
- 8) Barley, K.P (1963): Influence of soil strength on growth of roots. *Soil Sci.* **96**:175-180.
- 9) ———. et al (1965) : The influence of soil strength on the penetration of a loam by plant roots. *Aust. J. Soil Res.* **3** :69-79.
- 10) 農林水産技術会議事務局編 (1962): 畑土壌生産力に関する研究.
- 11) 松尾憲一 (1964): 粒径組成と土壌の物理性に関する研究, 農技研報B-14: pp285
- 12) 滝島康夫・佐久間宏 (1969): 土壌の圧縮および硬度が水稻の根系発達に及ぼす影響に関する研究, 農技研報B-21:255-328.
- 13) 三好 洋 (1972): 根群発達良好な土壌条件から見た畑地の有効土層の検討, 日本土壌肥料学雑誌 **43**:92-97.
- 14) 古賀 汎 (1972): 温州ミカン園における下層土の物理性に関する研究, 四国農試報 **25**:119-232.
- 15) 大坪孝之 (1968): 柑橘の樹令と柑橘園土壌の老朽化に関する研究—第3報, 東京農大農学集報 **13**(2):12-17.
- 16) 増田拓朗・森本幸裕・長谷川秀三 (1981): 街路樹土壌と樹木生育—名古屋市の事例, 造園雑誌 **44**(3):155-160.
- 17) 北村文雄・野田坂伸也 (1975): 造園樹木の生長に及ぼす土壌硬度の影響, 造園雑誌 **38**(4)32-37.
- 18) 山寺喜成 (1968): 緑化工法の適用基準に関する考察, 日林講 **84**:147-149.
- 19) 美園 繁・川尻美智子 (1968): 土壌の三相構造に関する研究 (2) , 農技研報B-19:1-64.
- 20) Rosenberg, N.J. (1964): Responses of plants to the physical effects of soil compaction. *Advances in Agronomy* **16**:181-196.
- 21) Richard, S.J. et al (1961) : Water use by young lemon trees in relation to Soil compaction and tree growth. *Soil Sci.* **92**:347-350.
- 22) Russell, E.W. (1961): "Soil condition and plant growth." Longmans.
- 23) Flocker, W.J. et al (1959): Influence of soil compaction on phosphorus absorption by tomato plants from an applied phosphate fertilizer. *Soil Sci.* **88**:247-250.

24) 川村秋男・古賀 汎・山崎清功(1971):土壌ち密度と畑作物の生育感応, 四国農試報23:53-105.

第5章 対策について

近年の緑地樹木生育基盤の多くにみられる主要な不良要因として（イ）土壌のち密度が高いこと，（ロ）土壌の深さが限られていること，（ハ）梅雨時の地下水位が高いこと，を前章までに指摘し，その要因強度と樹木生育の関連について論じてきた。その検討は決して十分でないが，本研究が各種緑化事業を念頭においた応用的立場をとる以上，判明した範囲でも，でき得るかぎりの対策を検討するため本章を設けた。

樹木生育基盤の全般的な不良要因の調査および評価手法さらに基盤整備手法についてはすでに造園学会としても分科会で一応の結論を提案するに至っている¹⁻²⁾。そこで，すでに確立されている診断法や対策についてははぶき，ここでは本研究の特色でもある小型貫入試験器による土壌硬度診断法についてまず検討し，ついで盛土が有効土層となっていない事例に鑑みて締固まり防止材の検討を行なう。

5-1 小型貫入試験器による土壌硬度診断

4章で述べたように，土壌ち密度はなんらかのかたさで表現した方が固相率や容積重を用いるより，樹木の生育におよぼす影響に関して土壌の種類による変動が少ない点で有利である。植栽基盤造成においても，現場ですぐに測定値が得られる点で便利である。こうした際に必要とされる分級値について，今まで述べた結果を中心に検討を加える。本研究では硬度測定法としては状況に応じて山中式と小型貫入試験器を併用してきたが，緑化現場への適用の際の便宜を考慮し，他の測定法との相関も検討した。

（1）土壌の硬度測定法

土壌硬度は物理量としてその意味が不明確なので，測定法とともに示す必要がある。以下に緑地の調査に用いられている貫入試験法を述べる。

（イ）小型貫入試験器——せき悪林地の土壌調査に堤³⁾が用いた円錐動的貫入試験器である。基本的な仕様はそのままで，固結土壌用に円錐に逆テーパをつけ引抜きやすくし，2 cmごとに貫入ロッドに目盛りをつけ，強度を増すため非分解式にした改良型も本研究で使

用した。60cm深まで測定可能，円錐の頂角 25° ，底面積 3cm^2 ，落錘 1.17kg ，20cm自由落下で，円錐の底面の4cmごとの貫入に要する打撃回数（ N_4 値）を測定した。他より軽便である。

（ロ）長谷川式——上記より大型で90cm用のものは全長164cm，円錐の頂角 60° ， $\phi 2\text{cm}$ ，落錘 2kg ，50cm自由落下，全重 6kg でやや堅密な土壤に適するように近年開発された。測定値は1打撃ごとの貫入深（やわらか度）が提案されているが⁴⁾，他の動的貫入試験器と同様に N 値で表現できる。

（ハ）土研式——一般の土木関係に用いられてきたもので，円錐頂角 60° ， $\phi 3\text{cm}$ ，落錘 5kg ，50cm自由落下，全重約 30kg というややおおがかりな装置であり，やや硬い土壤に適する。測定値は打撃回数—貫入深のグラフや5cmごとの N 値などが用いられている。

上記以外にも数多くの貫入計が試みられているが，大がかりであったり，ち密な樹木生育基盤に適當でないものも多い。

このほか，従来より行なわれている土壤断面を設定して測定する方法として，国有林野土壤調査法の堅密度区分⁵⁾や山中式土壤硬度計⁶⁾で指標硬度（mm），硬度（ kg/cm^2 ），絶対硬度（ kg/cm^3 ）を求める方法が行なわれている。これらの土壤のかたさ測定値は土壤の種類や諸条件で少なくない変動がみられるが，実用的なめやすはいくつか得られている。

（イ）堅密度と山中式硬度計の関係——林地の土壤断面調査の結果から，真下⁷⁾が堅密度と指標硬度の関係を求めており，「すこぶる堅」を $22\sim 23\text{mm}$ ，「固結」を $25\sim 27\text{mm}$ としている。

（ロ）山中式と長谷川式の関係——関東ロームにおいて

$$Y = 29.1 - 4.53 X \quad (r = 0.923)$$

ただし Y ：山中式指標硬度mm， X ：長谷川式やわらか度（1打撃貫入深cm），同様に砂地において

$$Y = 19.7 - 4.57 X \quad (r = 0.829, n = 12\text{点})$$

の回帰式が得られている⁸⁾

（ハ）山中式と土研式の関係——マサ土による盛土造成緑地において，つぎの回帰式が得られている。

$$Y = 8.685 X + 4.608 \quad (r = 0.781, n = 56\text{点})$$

ただし Y ：絶対硬度mm， X ：土研式 N 値（打撃/cm），

これは指標硬度 $22\sim 29\text{mm}$ の，植栽基盤としてはかなりかたいマサ土について調べられたものである。

（ニ）小型貫入試験器と長谷川式——古生層の褐色森林土（B_D（d）），残積土，0～52cm深）で10cm間隔で貫入試験を行なって以下の回帰式を得た。

$$\log Y = 0.970 \log X - 0.099 \quad (r = 0.880, n = 52\text{点})$$

ただし， Y ：長谷川式による N_4 値， X ：小型貫入試験器による N_4 値，

なお，動的貫入試験結果のこのような対数表示の利点についてはすでに3-2で述べてあ

る。

(ホ) 小型貫入試験器と山中式——さきの2-1で述べた事例から以下の回帰式が得られた。

$$\log Y = 0.669 \log X + 0.538 \quad (r = 0.658, n = 46 \text{点})$$

ただしY: N_4 値, X: 絶対硬度

これは土壌の種類やおかれている条件がまちまちなこともあって相関は高くない。指標硬度で7.5mm~22mmの固結していない土壌に関する調査結果である。

なお、貫入試験で土壌の密度をみようとするもののうち、農業的には静的な貫入タイプのものも用いられているが、固結土壌では測定がたいへん困難である。上記の貫入試験器は3種とも動的円錐貫入タイプであり、本研究で対象としたような固結土壌への適用が可能なものである。

この3種の1打撃あたりの仕事量 $\text{kgf} \cdot \text{m}$ は小型貫入試験器 0.234, 長谷川式 1.0, 土研式 2.5であり、円錐の底面積あたりの1打撃仕事量 $\text{kgf} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ はそれぞれ 0.078, 0.318, 0.354となる。エネルギーの伝達ロスがなく、円錐の排除する単位土壌量あたりの仕事量すなわち貫入効率が貫入棒のタイプにかかわらず一定ならば、同一土壌の小型貫入試験器のN値は長谷川式の4.1倍、土研式の4.5倍となるはずである。しかるに上記(二)の例では平均してみると約1.3~1.4倍程度となっており、小型貫入試験器の貫入効率が低い。これは他より円錐の頂角が鋭いことによるところが大きいであろう。一方、長谷川式と土研式の円錐頂角はともに60°であるので、仮に貫入効率が同じであるとする と前者のN値は後者の1.1倍となるはずである。

(2) 分級

関西で利用の多いマサ土植栽基盤を中心に検討する。

土壌硬度測定値と樹木生育の関係については4-5にとりまとめた。これらの測定値のうち最も報告の多いのは山中式指標硬度である。それぞれの生育判定基準や生育条件、種が異なるので、それぞれの値をただちに比較することに問題はあるが、たいへん大まかにみれば22~23mmになると多くの植物の生育が抑制されはじめ、25~27mmになるとほとんどの植物の生育が明らかに不良となるようである。これらの値は堅密度区分でいえば「すこぶる堅」と「固結」に相当すると考えられる。

一方、本研究の N_4 値でいえば、それぞれの事例において20ないし30が樹木生育の抑制がみられる値と結論した。また40~100をこえるところでの根系分布はまずみられない

(岩盤の亀裂やきわめて粗粒のマサ土など1部の例外を除く)

長谷川式では関東ロームの場合、1.5cm/1打撃よりかたいと樹木の生育が抑制され、それは指標硬度22~23mmに相当するようであるが⁴⁾ 本研究でとりあげたマサ土など非火山灰土では不明である。さきの小型貫入試験器との相関や土研式との比較から考えると指標硬度22~23mmは N_1 値(打撃回数/cm)で2~4の範囲を大幅にはこえないであろう。

土研式ではマサ土の場合、N₁ 値 5が樹木の活着、生育を著しく制限する値であるとい⁹⁾う。

以上からマサ土における植栽基盤の締固まり状況を硬度で診断する際の分級値として樹木生育を抑制するN₄ 値20~30は堅密度「すこぶる堅」、山中式22~23mm、長谷川式N₁ 値 2~4(0.5 ~ 0.25cm/打撃)、土研式N₁ 値 2に、また樹木生育を著しく制限すると思われるN₄ 値40~100 は同じく「固結」、25~27mm、5~ 8.5 にそれぞれほぼ相当すると考えられる。ただし、これらの分級値は研究の不十分な点も多く、大まかなめやすとしてのみ有効であろう。

本研究で用いた小型貫入試験器N₄ による土壌硬度測定法は(イ)軽便、(ロ)土壌断面を設定せずにかたさの垂直分布が測定できる、(ハ)現場で測定値が読取れる、(ニ)安価、などの特徴をもつが、粗大な隙が測定値を乱しやすい欠点がある。また乾燥時は湿润時の 2~ 6倍のN₄ 値となる例¹⁰⁾もあり、特に未熟な粘質土の場合は水分条件に留意する必要がある。したがって、厳密にはN₄ 値は水分量とともに変動するので、不良要因としての硬度測定のためには降雨直後や梅雨時をさける必要がある。植栽基盤造成現場や管理対象緑地の全域にわたる概査用としてはこの程度の配慮で、固結層の発見や表層土の深さの把握に大きな欠陥はないと思われる。

5-2 土壌改良資材によるマサ土締固まり防止効果

造成地においては土壌の固結化現象が生じやすく、たとえ盛土であっても、樹木生育基盤として不適当なまでに締固まることもまれでないことをさきにのべた。

植栽基盤造成の際にこの現象の対策が近年徐々に考慮されるようになり、できるだけ重機・車両の踏圧をさけたり、接地圧の小さい湿地型ブルドーザーを用いたり、その他施工法を工夫する提案もなされている¹⁰⁾。ひとたび固結化した基盤をゆるめるのは園地的取扱い上、困難な点が多いので、基盤造成時に万全の処置を講ずるべきであろう。その手法のひとつとして、いわゆる土壌改良材として用いられているパーライトとピートモスの締固まり防止効果について、マサ土（関西地方で植栽基盤に多用され、かつ締固まって不良基盤となりやすい）を用いた締固め試験によって検討した。いわゆる土壌改良材を不良土壌の改善策として用いる消極的な考えかたでなく、基盤造成の際のブルドーザー走行は必要という前提で、締固まり防止材として積極的に用いることを意図したわけである。

（1）供試材料

マサ土は京都市北白川産の残積土でシデ類（*Carpinus* spp.）を主とする2次林下のB層下部より採取したもので、粗大な隙を含まず、植栽用マサ土としては良質と思われるものである。

パーライトは三井ネニサンソ防散2号で、マサ土の改良効果が認められている¹¹⁾。ピートモスはカナダ産の仮比重 0.1のものを用いた。

実用的見地から市場性があり、安価でかつ効果の期待できる無機質系と有機質系の代表的な資材を検討したわけである。

（2）試験方法

マサ土を4650 μ のふるいを通して以下の試験に用いた。マサ土のみとマサ土とパーライトおよびピートモスをそれぞれ容積比で1：1でよく混合して締固め試験を行なった。締固め法はつぎの2種である。

（イ）JIS 1210¹²⁾による方法：土質工学上の標準的な方法として、締固め条件は3層25回、くり返し法で行なった。

（ロ）静荷重 0.3kg/cm²：ブルドーザーによる造成、整地を想定して行なったもので、湿地型土工機械の接地圧がほぼ 0.28k/cm² 前後であることから、この程度の締固めは避けがたいと考えられる。方法は、締固めモールド内に直径5cm、100 cm³ の採土円筒を入れ締固め後の土層の厚さが採土円筒の高さより 0.5cm程度高くなる程度の供試材料をつめて、静荷重を1分間だけ、円筒と同径の面をもつ錘りを用いて加え、その後円筒よりはみ出た

部分をけずり取り物理性測定に供した。

2法とも乾燥状態から徐々に水分を加えて5～6回の試験を行ない、締固め時に水分がにじみ出て測定不能となるまで行なった。

(3) 試験結果

供試土の粒径はFig.5.1に示す。土質工学的には締固め試験結果は含水比と乾燥密度の関係のグラフで示される。Tab.5.1とFig.5.2にこの結果を示す。

JIS締固めによると、マサ土（以下M）、マサ土+パーライト（以下MPL）およびマサ土+ピートモス（以下MPM）もいわゆる最適含水比が存在し、Mで約14%、MPMで21%、MPLで25%程度で最もよく締固まっている。一方、静荷重 $0.3\text{kg}/\text{cm}^2$ では、JISの場合のようなピークは明らかでなく、Mでは含水比が増加するほど乾燥密度は大きく増加するが、MPMとMPLではあまり増加しない。図上にゼロ空隙曲線を示しておいたが、これら3者の真比重が異なるため、固相率からみた密化の比較が困難なので、締固め曲線の3相表示をFig.5.3に試みた。

その結果、JIS法によると、最大となる固相率はMで68%、MPM65%、MPL64%と、いずれも前章までに述べた緑地よりかなり大きい。パーライトとピートモスの締固まり防止効果が認められる。さらにMPLやMPMの最大乾燥密度がMよりかなり高い含水率に対応しており、MPLではほぼ16%、MPMで19%以下の水分率なら固相率は60%をこえない。つまり、一定の固相率以上とならないようにするため、乾燥状態のものを用いて造成する際、その含水率の許容幅がパーライトやピートモス混入によって増加すること、およびその固相率をより小さく設定することが可能となることを示している。

なおこのJIS締固め法ではマサ土の場合、含水比に留意しても固相率は60%をこえることになり、前章までに述べたように樹木根系の伸長はまず望めない状態となっている。またパーライトとピートモスは互いに重なるの多い締固め曲線となった。

一方、静荷重 $0.3\text{kg}/\text{cm}^2$ ではMとMPL、MPMの差が大きくあられ、パーライトやピートモスの締固まり防止効果が明らかである。またMでは高含水比時には湿地型ブルドーザーでもかなり締まってしまふことが分る。

つぎに、この締固めによる孔隙組成の変化をみたのがFig.5.4である。いずれも高含水比で締固められたものほど粗孔隙が減少し、細孔隙の割合が増加しているのが分る。MPMでは粗孔隙の減少が少ない。なお、最小容気量は締固め時含水比で特に大きな変動はなかったが、Mで約6%以下と小さく、MPM、MPLではほぼ7～14%と大きかった。

これら供試土の固相率と山中式硬度の関係をFig.5.5にみた。絶対硬度を対数でとると固相率とはほぼ直線関係が得られたがMPLやMPMでは同じ硬度に対して固相率がかなり低くなっている。なお、土壌硬度は含水比で左右されるので、ここでは吸収板法¹³⁾によってほぼpF 2.7にそろえてある。

つぎに、飽和透水係数はFig.5.6に示したように、Mでは 10^{-2} 前後でMPLやMPMよ

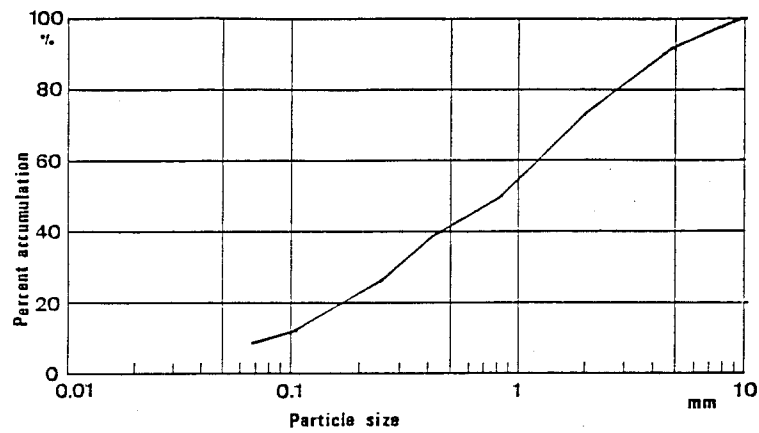


Fig.5.1 Particle size distribution of used Masa soil.

Tab.5.1 Results of JIS compaction tests.

	Water content (Weight)	Dry density g/cm ³	Three pase distribution when compacted		
	%		Solid %	water %	Air %
Masa	9.4	1.691	63.3	15.9	20.8
	12.1	1.739	65.1	21.0	13.9
	14.3	1.821	68.2	26.0	5.8
	17.3	1.778	66.6	30.8	2.6
	19.5	1.681	63.0	32.8	4.2
	22.1	1.622	60.7	35.8	3.5
Masa + Perlite	7.7	1.135	53.0	8.7	38.3
	12.3	1.271	59.4	15.7	24.9
	17.5	1.337	62.5	23.5	14.0
	24.8	1.370	64.0	34.0	2.0
	29.1	1.316	61.5	38.3	0.2
Masa + Peat moss	11.9	1.460	58.4	17.3	24.3
	13.1	1.561	62.4	20.4	17.2
	21.3	1.640	65.3	34.7	0.0
	25.2	1.480	59.2	37.3	3.5
	30.2	1.400	56.0	42.3	1.7

Tab.5.2 Results of 0.3kg/cm² compaction tests.

	Water content (Weight)	Dry density	Three phase distribution			Porosity			Water max. volume	Air min.	Soil hardness (pf2.7,Yama- naka method) kg/cm ³	Saturated permeability
	%	g/cm ³	Solid %	Water %	Air %	Total %	Fine %	Coarse %	%	%		cm/sec
Masa	10.5	1.253	46.9	13.1	40.0	53.1	10.5	42.6	46.9	6.2	1.40	1.4x10 ⁻²
	11.2	1.285	48.1	14.4	37.5	51.9	15.9	36.0	47.5	4.4	2.27	2.0x10 ⁻²
	13.8	1.345	50.4	18.6	31.0	49.6	17.9	31.7	43.9	5.7	2.49	8.0x10 ⁻³
	16.9	1.364	51.1	23.1	25.8	48.9	15.8	33.1	45.0	3.9	4.54	1.0x10 ⁻²
	18.4	1.414	53.0	26.0	21.0	47.0	19.5	27.5	41.1	5.9	5.47	4.1x10 ⁻³
	22.7	1.578	59.1	35.9	5.0	40.9	26.1	14.8	36.9	4.0	7.74	2.5x10 ⁻⁵
Masa + Perlite	8.3	0.901	42.1	7.5	50.4	57.9	13.9	44.0	50.0	7.9	2.14	2.2x10 ⁻³
	15.8	0.830	38.8	13.1	48.1	61.2	26.1	35.1	48.9	12.3	1.87	2.5x10 ⁻³
	26.6	0.888	41.5	23.6	34.9	58.5	20.3	38.2	49.7	8.8	2.27	1.5x10 ⁻³
	42.8	0.900	42.1	38.5	19.4	57.9	31.9	26.0	48.9	9.0	2.06	9.3x10 ⁻⁴
	44.2	1.000	46.7	44.2	9.1	53.3	30.5	22.8	44.1	9.2	6.38	9.0x10 ⁻⁴
Masa + Peat moss	9.5	0.845	33.8	8.0	58.2	66.2	18.0	48.2	52.5	13.7	1.14	4.2x10 ⁻³
	21.9	0.852	34.1	18.7	47.2	65.9	19.4	46.5	57.9	8.0	1.48	1.8x10 ⁻³
	32.0	0.876	35.0	28.0	37.0	65.0	24.5	40.5	56.8	8.2	1.57	1.3x10 ⁻³
	42.2	0.961	38.4	40.6	21.0	61.6	24.4	37.2	47.7	13.9	4.05	9.5x10 ⁻⁴
	51.4	0.960	38.4	49.3	12.3	61.6	22.6	39.0	54.7	6.9	3.90	7.8x10 ⁻⁴

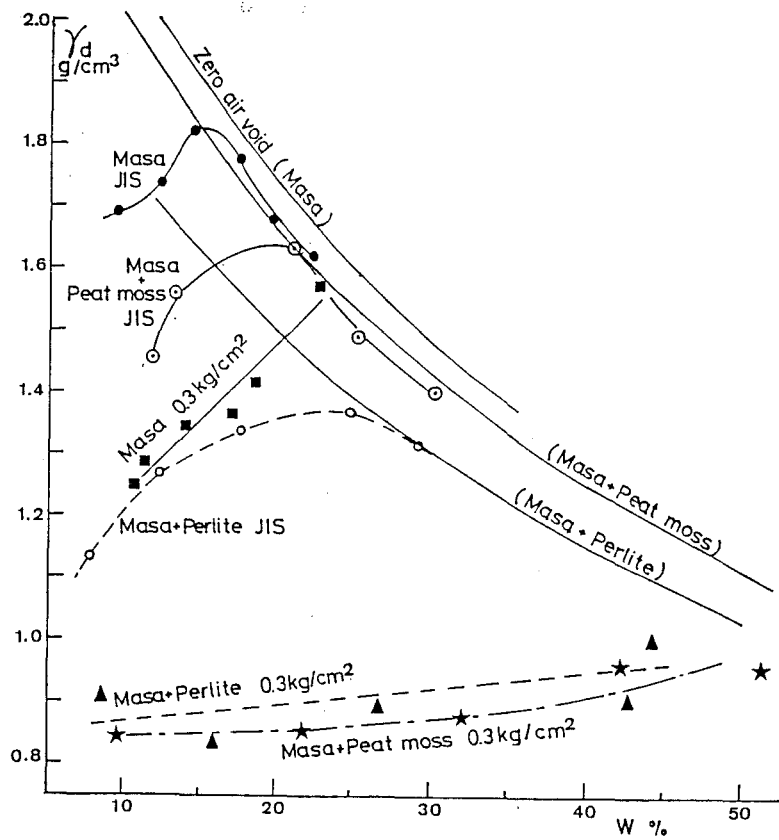


Fig.5.2 Compaction curves of each treatment.

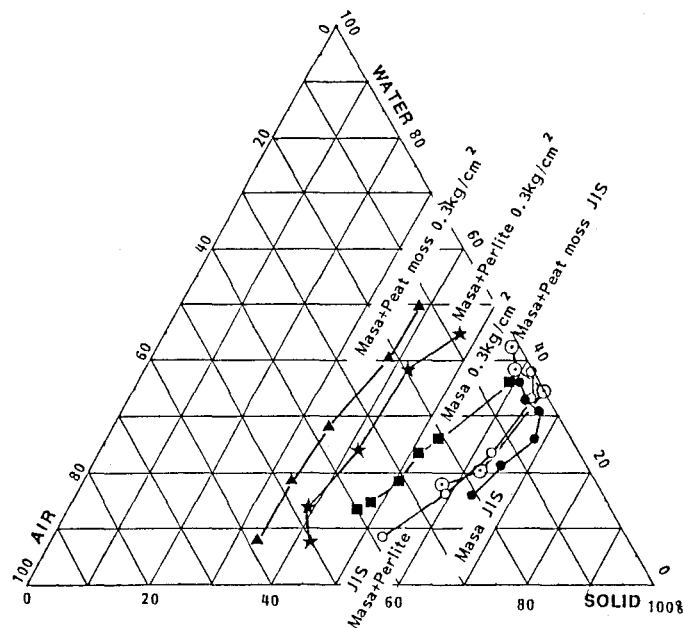


Fig.5.3 Compaction curves expressed in the triangular coordinates.

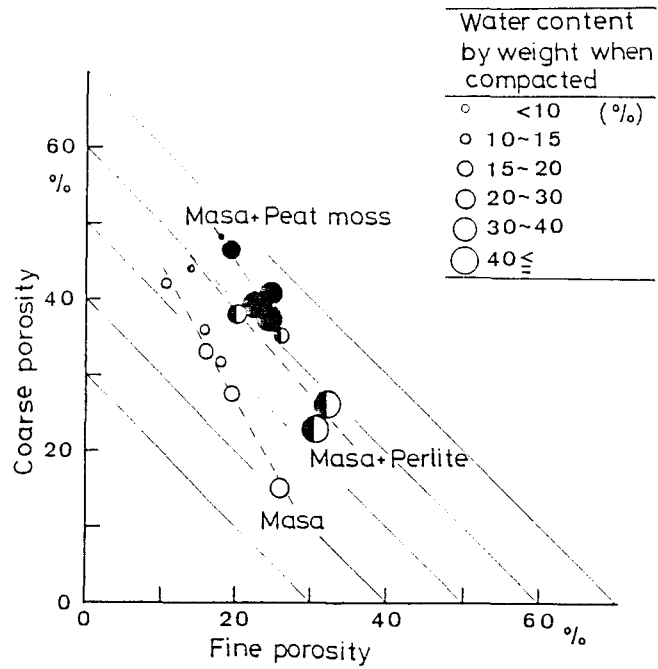


Fig. 5.4 Changes of pore structure by 0.3 kg/cm² compaction tests.

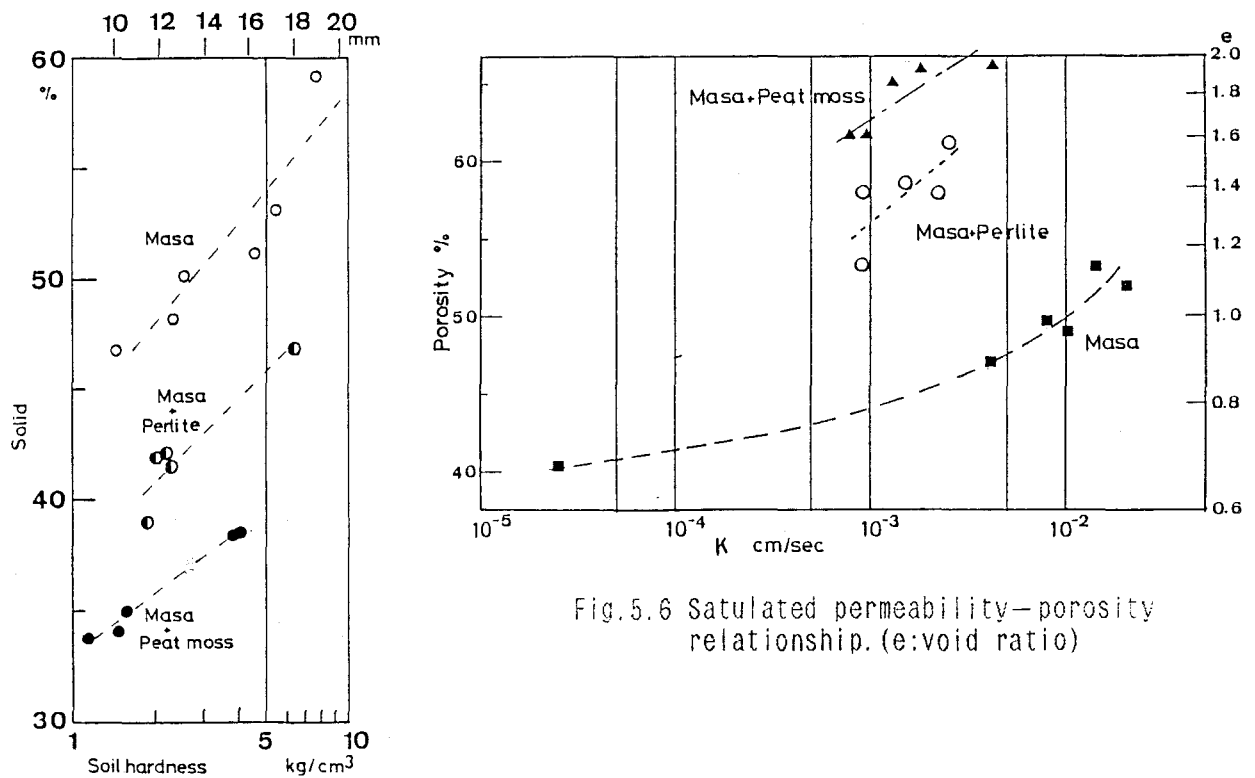


Fig. 5.5 Soil hardness (Yamanaka type) — Solid phase relationship.

り大きい値となるが、孔隙量40%程度になると極度に低下している。一方MPLやMPMはほぼ 10^{-3} 前後となっており、これは未熟土としては、いくつかの分級例^{1,14)}からみても不良とはいえない。

(4) 考察

大規模な植栽基盤造成に際して、できるかぎり締固まりをさけようとしても、敷ならしや整地のための湿地型ブルドーザーの走行まで禁じるのは現実的でないので、最低限 0.3 kg/cm^2 程度の接地圧はかかるわけである。その場合、マサ土を湿潤な状態で施工すれば極度の締固まりと透水性の低下をまねくが、パーライトやピートモスはこの締固まり防止の明確な効果がある。ただしJIS締固めのような強い転圧を受ければ、パーライトやピートモスを等容量加えたマサ土でも含水比が高ければ、樹木根系伸長を抑制すると考えられる固相率にまで締固まる。

パーライトとピートモスは等容量混入の場合、湿地型ブルドーザーが1分間程度接地する条件ではピートモスの方が乾燥密度からみた締固まり防止効果は高いが、JIS法のような強い転圧を受ける条件では両者の差は明らかでない。また締固め時含水比の増加にともない孔隙組成の細密化が生じるが、ピートモスを加えると粗孔隙量はあまり低下しない。

湿地型土工機械によるていねいな施工を前提として、マサ土のみを固相率50%以下で仕上げるには含水比をほぼ12%以下におさえる必要があるが、パーライトやピートモスを等容量混合すると含水比に注意する必要はほぼなくなる。

ピートモスに関してはこれが有機質であり、活性をもつ資材であるから、経年変化はじめ他の検討すべき問題は残っている。さらに造成後のマサ土が水浸による構造変化などでさらにち密化する現象¹⁵⁾も含めて今後の研究が必要とされるが、以上のようなパーライトやピートモスの締固まり防止効果は樹木生育基盤として好ましいといえるだろう。

以上のような締固め試験は造成前に植栽基盤の締固まり状況を予測する方法として一般的に有効と考えられる。Stuckyら¹⁶⁾はreclamationの際の畑地造成に関連して盛土材料の締固め試験をおこなって適性を判定し、有機物含有率が増加すると締固まりを軽減し、最適含水比が増加する利点を認めている。

また、四方田ら¹⁷⁾は大阪府大泉緑地の植栽基盤の固結に関連して、マサ土の締固め試験を行っており、このマサ土は本研究に用いたマサ土よりは細粒質で透水係数が低いようであるが、含水比で15~17%以下のマサ土を用いるのがよいとしている。この程度の含水比のマサ土は経験的にいえば、入手にそれほど困難があるわけではないが、特に湿潤時に造成されたり、強く締固めていない万国博記念公園のマサ土盛土の事例(3-2参照)でもち密化の傾向がみられており、盛土材のマサ土のみで含水比の品質管理のみを考えるのは危険をとまなうと考えられる。ここで述べたような盛土時に締固まり防止材をマサ土に混合することの効果을期待する方が安全であろう。ただし、その効果的な混合工法については今後の課題である。

5-3 総括

ここまで、いくつかの調査および試験を通して、緑地の樹木生育基盤に関する基礎的な問題を考察してきた。しかし未解明のまま残されている問題点もたいへん多く、十分合理的な対策を導くにはほど遠いといわざるを得ない。とはいうものの、本研究が現実の緑地のかかえる基盤の問題点から出発した応用的研究であること、さらに現実の緑地整備事業が進行していくなかで、できるだけ具体的な技術に展開して現場に適用することで、残された問題点も一層明らかとなるであろうことから、あえて基盤整備について考察を加えて提案する。

(1) 基盤整備の基本方針

筆者は、緑地の土壌に関して近年問題となっている樹木生育阻害要因（いわゆる土壌環境圧）の改良工法について提案した際²⁾、阻害要因として、有効土層不足、ち密、過湿・空気不足、過乾、pHの不適、肥沃度不足、有害物質過多、土壌不安定を挙げたが、本研究で対象とした事例の多くは有効土層不足はじめ、特に物理的な阻害要因をかかえていた。この点は関西地方の造成緑地の多くについても共通と考えられ、樹木の一般的な育成目標を達成するためには基盤の改良を必要とする場合がたいへん多いわけである。本研究で明らかとなった阻害要因をつぎの3点に要約し、その対策の考えかたを以下に述べる。

（イ）土壌の深さ—— N_4 値で20～30以下の土層厚が重要な意味をもつと結論できた。この土層厚不足の粗造成基盤対策としては、岩盤・心土破砕や各種耕うん法など土層工および盛土工が検討されるべきであろう。

（ロ）土壌層のち密度——造成時のみならず、その後の管理段階においても土壌層のち密度が20～30をこえると樹木に悪影響がみられると結論できた。造成時の対策としては（イ）の改良手法および、使用機械と施工法の検討があげられる。締固まり防止材としての土壌改良材の利用が有効であるとも考えられた。管理段階での対策としては踏圧状態の制御が必要といえる。さらに樹木導入・育成は特に表層土の発達・膨軟化に効果があると判明した。下層土については立木状態のままで膨軟化は困難であるが、圧縮空気を土層中に注入する1種の耕耘法など今後、検討を進めるべきであろう。

（ハ）地下水位——平坦ないし緩斜面の造成地においては地下水位が高くなりやすく、樹木生育を阻害する。ギンドロのような過湿地に耐える樹種を除いて、一般の緑地樹木による樹形にほとんど乱れのない、うっ閉した樹林造成のためには、梅雨時の最高地下水位を少なくとも地表下40cm以下におさえる必要があり、さらに、100～160cm 以深に設定できれば、より好ましいと考えられた。排水層の設定をはじめ、地下水位を低下させ安定させる考慮の重要性が指摘でき、さらにさきの（ロ）の対策によって土壌層自体の透水性を確

保することも重要であろう。

(2) 緑化事業の各段階における対策

以上に述べた諸要因を、つぎの各段階ごとに検討するのが合理的であろう。

(イ) 計画・設計段階——表層地質や盛土材の種類とその性質（特に密度や締固まり特性が重要である）、および、切盛り規模とその手法が上記の諸要因の強度の予測に有力な情報源となり、これと樹木育成目標をもとに基盤整備の計画が検討される。

(ロ) 粗造成段階——これは構造的な土木造成がほぼ終了した段階であり、小型貫入試験器による概査、非攪乱試料による固相率、透水性などの分析・評価と、これにもとづく基盤整備の設計が行なわれる。また、構造的に組みこまれた排水施設、排水勾配の品質管理も行なわれる。

(ハ) 樹木生育基盤整備段階——各種の土層改良および土壌改良工事の進展に応じて小型貫入試験器などを用いた基盤の品質管理が行なわれる。

(ニ) 管理段階——地下水位の観測、貫入試験が定期的に行なわれ、状況に応じて浸透能測定、土壌分析も加えて、これらをもとに管理の計画、実施が行なわれる。

なお以上の諸段階とその内容は緑化事業の規模や性質にふさわしい手法に変更することは可能である。

文 献

- 1) 興水 肇 (1982): 植栽基盤整備のための土壌調査の手法と課題, 造園雑誌 46 (1): 35-43.
- 2) 興水 肇 (1983): 植栽基盤整備手法とその標準化について, 同上 47 (1): 32-38.
- 3) 堤 利夫 (1963): 育悪林地とその改良, 「アカマツ林の造成」(四手井綱英編): 303-321. 地球出版.
- 4) 長谷川秀三 (1981): 長谷川式土壌貫入計による緑化地の土壌調査, 造園学会春期大会発表要旨: 43-44.
- 5) 林業試験場編 (1955): 国有林野土壌調査方法書: 47pp.
- 6) 山中金次郎・松尾憲一 (1962): 土壌硬度に関する研究—第1報, 土肥誌 33: 343-493.
- 7) 真下育久 (1973): 硬度計による森林土壌の堅密度の区分および粗孔隙の予知, 森林立地 15 (1): 22-24.
- 8) 岡本説明 (1982): 植栽基盤造成時の土壌固結化が植栽木の活着と生育に及ぼす影響, 環境緑化研究 2: 162-181.
- 9) 加藤博之・森本幸裕 (1979): のり面への樹木植栽の実態調査, 斜面緑化研究 1: 139-180.

- 10) 興水 肇 (1981a): 緑化事業における土壌保全の手法とその標準化について, 造園雑誌 45(1):35-43.
- 11) 岡本諷明・敷根俊一 (1982): 土壌改良剤のピートモスとパーライトの施用がクスノキの2年生ポット苗の生育に及ぼす影響(予報), 環境緑化研究 2:60-87.
- 12) 久野悟郎 (1964): 締固め試験, 「土質試験法」土質工学会編:123-157. 土質工学会
- 13) 真下育久 (1961): 吸収板による簡単なpF値の測定とこれによる土壌水および孔隙区分, 森林立地 3(1):32-34.
- 14) 興水 肇 (1981b): 植生の成立と土壌条件, 「緑化・植栽工の基礎と応用」土質工学会編:62-70. 土質工学会.
- 15) 土質工学会編 (1974): マサ土, 「日本の特殊土」:85-140. 土質工学会.
- 16) Stucky, D.J. ・Lindsey, T.C. (19): Effect of soil compaction on growth and yield of soybeans grown in a greenhouse on several reconstructed soil profiles from prime farmland in southern Illinois.
- 17) 四方田穆・手島三二 (1974) マサ土で造成された大規模公園緑地の土壌の物理性について, 農業土木学会誌 42(5):303-307.

結 論

本研究では、近年の各種緑化事業において生起してきている樹木生育基盤の不良性に関する問題に対応して、その諸性質の解明、特にその不良要因の抽出、評価、対策を目的として、いくつかの調査と試験を行ない、考察してきた。以下にその成果を要約し結論とする。

序論においては本研究の位置づけと論文の構成について述べた。

樹木生育基盤を造成上の特徴によって、平坦地とのり面および大規模造成地（緩斜面）に分類し、第1章では平坦地の緑地である京都御苑、岐阜市都市公園17か所、豊田地区緑地3か所を対象として、（イ）不良要因として利用にともなう踏圧による表層20cmまでの土壌固結化と、造成時の重機による踏圧による土層の固結化があり、（ロ）前者の京都御苑では表層土容積重 $100\text{g}/100\text{cm}^3$ 以上、浸透能 $100\text{mm}/\text{hr}$ 未満、小型貫入試験器 N_4 値30以上で樹木が衰退し、（ハ）後者の豊田地区では下層土の固相率60%以上、最小容気量5%未満、透水速度 $10\text{cc}/\text{min}$ 以下で植栽木が明らかに生育不良となり、（ニ）岐阜、豊田地区とも N_4 値20以上で生育不良となることが判明した。さらに、（ホ）これらの緑地土壌の経年変化として造成直後のち密化の過程とその後の膨軟化の過程があり、（ヘ）明らかな生育不良をもたらさない踏圧の程度に土壌管理の目標値を定めるとすると、 N_4 値10～20以下、最小容気量10%以上、容積重 $120\sim 130\text{g}/100\text{cm}^3$ 以下（造成時）、90～110以下（造成後10年）であると推察された。

第2章ではのり面の樹木生育基盤の問題点を関西地方の8地区40のり面を対象としてまとめ、そのうち21のり面の4年間4回の追跡調査から、（イ）土壌の諸性質は樹木植栽により発達を促されること、3相組成や孔隙解析図上で4年間の経年変化および地区（母材）の違いが明らかにされた。（ロ）その他ののり面土壌の物理化学性11要因を用いたQモード因子分析の結果、中・古生層と新生代堆積層の区分をしたうえで、樹木生育状況とむすびつけた土壌の整理分類が可能となり、その因子軸は粗孔隙や腐植に代表される土壌化の程度と、もうひとつはち密度や水分、pHに代表される排水性の良否であった。（ハ）土壌有機物の集積量は切取りより盛土が、芝草のみよりクロマツ、さらに広葉樹植栽区が植生の生育のよい方が、それぞれ多く、経過年数とともに初期で増加が激しく、のち緩やかとなっており、2～11年経過ののり面で $5.6\sim 66.9\text{t}/\text{ha}$ 、3～50年経過の切取りで $4.0\sim 37.2\text{t}/\text{ha}$ であった。

第3章では大阪層群の分布する千里丘陵につくられた大規模造成地の樹林帯を対象とし、不良要因として（イ）表層土深が浅いこと、（ロ）ち密であること、（ハ）梅雨時の地下水位が高いことを指摘し、（イ）は小型貫入試験器による N_4 値20以下の土層が25cm以下、（ロ）は中・下層土の24の土壌諸性質の因子分析結果の第1因子（孔隙の多さ）の小さい

ところ（固相率では約57%以上），（ハ）は梅雨時に地表下40cmより高くなるところで，それぞれ不良となることが判明した。また，土壤中のチッ素がマサ盛土区で年間 m^2 あたり 3.2g, 大阪層群盛土区で 7.9g 増加したこと，さきの因子分析が母材の違い，締固まり状態，表層土の土壌化の程度を位置づけるのに有効であること，緩斜面中・下部における地下排水施設の必要性，などを指摘した。

第4章では，以上の調査研究で指摘した不良要因のうち，特に重要と考えられた土壌ち密度をとりあげ，それが樹木生育に及ぼす影響に関して行なった試験研究と考察を述べ，健全に生育している樹木に対しては踏圧による表層土固結化は N_4 値20以上で樹木生育を抑制するが，植栽時には極端な過湿地を除いて N_4 値20程度までは転圧が好ましいこともあり，最適ち密度が存在するのが一般的であることを述べた。

第5章では，それまでに指摘した不良要因に関する対策として， N_4 値による土壌硬度診断法に関して考察し，分級値の提案を行なった。また，マサ土の締固まりを防止する造成手法の検討を行ない，パーライトやピートモス等容量混合と湿地型ブルドーザーにより整地によって，ほぼ固結上の問題のない基盤造成ができることを締固め試験により示唆した。

以上，緑地の樹木生育基盤に関して論じてきたが，最初に述べたように，これらはすべて関西地方，特にマサ土や大阪層群の未熟な土壌が，あるいは切取られた岩盤が樹木生育基盤となっているような，樹木生育に好都合といえない緑地における研究結果であり，ここに述べた樹木生育評価も相対的なもので，ひいては土壌性質の評価については生産性の高い地域にもそのまま適用するのは適当ではないだろう。また母材の違いはこの調査からも土壌諸性質に対する影響が少なくないことが指摘できるので，各種緑化事業のためには多種の母材における事例研究の必要性が指摘される。さらに，不良要因の抽出，評価，対策，にとどまらず，緑地の植生状態と関連づけた土壌管理の体系化が今後の課題であろう。

本研究がその一助ともなり，また，植栽されたものの本来の姿をとりえないでいることの多い貧弱な緑地の解消にわずかでも役だてれば筆者の最も喜びとするところである。

謝 辞

筆者が、中村一京都大学農学部教授のご助言で京都御苑の調査を始めて以来、本研究を行なうにあたり、大変多くの先生、諸先輩、共同研究者、調査地や試験地の方々のお世話になった。

造園学全般にわたってご教示いただいた岡崎文彬先生（京都大学名誉教授）、中村一先生、研究会などを通して終始ご配慮と励ましをいただいた四手井綱英先生（同）には深く感謝する次第である。また、本研究をまとめることができたのは、斜面緑化研究会を推進し、それを通して暖かくご指導をいただき、調査にあたっても多大のご支援をいただいた小橋澄治先生（京都大学農学部助教授）と吉田博宣先生（京都大学農学部助教授）のおかげである。心から厚くお礼申し上げる。

また、京都御苑の調査において、一方ならぬご指導ご助力をいただいた堤利夫先生（京都大学農学部教授）、荻野和彦先生（愛媛大学農学部教授）、万国博記念公園などの樹木調査において多大のご助力を得た妹尾俊夫先生（京都府立大学農学部助教授）、土壌分析においてご指導、ご助力をいただいた服部共生先生（同教授）、本城尚正先生（同助教授）、小橋偕子氏（京都府立大学農学部）にも厚く感謝する次第である。

さらに、本論文は京都御苑の調査以来多くの調査と試験において共同研究を進めてきた増田拓朗氏（香川大学農学部助手）に負うところが大きい。長谷川秀三氏（大島造園）にも豊田地区の調査をはじめご助力をいただいた。また、斜面緑化研究会の諸氏や、武居二郎先生はじめ京都芸術短期大学造園研究室の方々には、なにかとお世話になった。京都大学造園学研究室および京都芸術短期大学造園コースの学生院生諸氏には調査・分析にご助力をいただいた。深く謝意を表する。

さらに、現実の緑化事業の問題に対応して進めた本研究の性格上、各事業主体および現地の方々の暖かいご理解と多岐にわたるご協力なくして本研究は成立しえなかった。本文に記した各種緑化事業関係の方々に厚くお礼申し上げる。